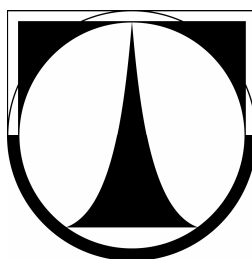


Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní



Diplomová práce

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Katedra částí strojů a mechanismů

Magisterský studijní program	:	N2301 – Strojní inženýrství
Obor	:	3909T010 – Inovační inženýrství
Zaměření	:	Inovace výrobků

Inovace zařízení k převíjení elektrody vysokého napětí pod stálým tahem

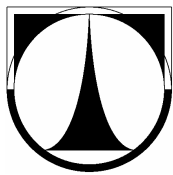
Innovation of the machine to rewinding electrode with high voltage with a constant tension

Bc. Jan Kasal

Vedoucí práce:	prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.
Konzultant:	Ing. Milan Nýdrle, Elmarco s. r. o.

Počet stran:.....77
Počet výkresů:.....12
Počet příloh:.....7
Počet obrázků:36
Počet tabulek.....7
Počet modelů
nebo jiných příloh:0

27.5.2011



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jméno a příjmení: **Bc. Jan KASAL**

Studijní program: **N2301 – Strojní inženýrství**
Obor: **3909T010 – Inovační inženýrství**

Zaměření: **Inovace výrobků**

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. O vysokých školách se Vám určuje diplomová práce na téma:

Inovace zařízení k převíjení elektrody vysokého napětí pod stálým tahem.

Zásady pro vypracování:

1. Představení úkolu. (potřebné funkce, důležité funkce, technické detaily)
2. Naplánování projektu. (harmonogram, inovační příležitost, inovační prohlášení)
3. Rozbor zadání z hlediska zákaznických požadavků. (interview, afinní diagram)
4. Průzkum současného stavu techniky v dané oblasti. (patentová rešerše, benchmarking)
5. Návrh řešení. Použijte metody kreativního generování (brainstorming, kombinační tabulka)
6. Výběr a ověření návrhů řešení, stanovení finální specifikace. (rozhodovací tabulky, interview, QFD). Zařízení by mělo převíjet rychlostí 1600mm/20min, silou 100N, bez rázově, s rychlopřevitutím 1600mm/10s. Cívka R30 – R35mm, drát průměr 0,24mm.
7. Vytvoření technické dokumentace, aplikace detailního konstruování, optimalizace. (3D model, výpočty, DFX, citlivostní analýza)
8. Stanovení nákladů pro realizaci.
9. Závěrečné zhodnocení – přínos práce

Forma zpracování diplomové práce:

- průvodní zpráva: cca 50 stran textu včetně obrázků
- grafické práce: množství nezbytné pro snadné pochopení látky čtenářem
výkresová dokumentace

Seznam literatury (uveďte doporučenou literaturu):

Mašín, I. – Ševčík, L.: *Metody inovačního inženýrství*. IPI 2006

Rosenau, M., D.: *Řízení projektu*. Brno: Computer Press, a. s., 2007. 344s. ISBN 978-80-251-1506-0

Růžicková, J.: *Elektrostatické zvlákňování nanovláken*. Skripta. TU Liberec 2004

Leinveber, J. – Vávra, P.: *Strojnické tabulky*. Albra, Úvaly 2005. ISBN 80-736-01-6

Zelený, J.: *Stavba strojů – strojní součásti*. Computer Press, Praha, 2000. ISBN 80-7226-311-0

Pešík, L.: *Části strojů. 1. díl*. Liberec, TU 2005. ISBN 80-7083-938-4

Pešík, L.: *Části strojů. 2. díl*. Liberec, TU 2005. ISBN 80-7083-939-2

Bušov, B. – Jirman, P. – Dostál, V.: *Tvorba řešení inovačních zadání*. Skripta. INDUS Brno 1996

Elmarco NANO FOR LIFE [online]. 2004 – 2011. [citováno 2010-2-12]. Webové stránky zadavatele <<http://www.elmarco.com/>>

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.

Konzultant diplomové práce: Ing. Milan Nýdrle, Elmarco s. r. o.

L.S.

prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.
vedoucí katedry

Doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.
děkan

V Liberci dne 15.12.2010

Platnost zadání diplomové práce je 15 měsíců od výše uvedeného data (v uvedené lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ). Termíny odevzdání diplomové práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Ladislavu Ševčíkovi, CSc. za cenné rady, metodické vedení a čas věnovaný konzultacím.

Dále bych chtěl poděkovat všem vyučujícím na TUL s nimiž jsem se setkal při výuce, či spolupráci.

Velice pak děkuji rodinným příslušníkům obzvláště těm z nejužšího rodinného kruhu („mámě a tátovi“) za projevy nezměrné solidarity a za celkovou podporu po dobu studia.

Práce byla vytvořena za finanční podpory SGS.

Jan Kasal

V Liberci dne 27.5.2011

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2 000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití diplomové práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užití své diplomové práce či poskytnutí licenci k jejímu využití mohu jen se svolením TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Jan Kasal

V Liberci dne 27.5.2011

Anotace Řešitel: Bc. Jan Kasal**INOVACE ZAŘÍZENÍ K PŘEVÍJENÍ ELEKTRODY VYSOKÉHO NAPĚTÍ
POD STÁLÝM TAHEM****ANOTACE:**

Diplomová práce se zabývá návrhem zařízení k převíjení elektrody vysokého napětí pod stálým tahem, mechanickým napětím. Práce představuje zákaznické požadavky, plánuje inovaci, definuje zákaznické potřeby, zkoumá moderními metodami současný stav techniky v dané oblasti... Hlavním cílem je za podpory metod inovačního inženýrství navrhnout a představit několik schémat variant řešení, pomocí rozhodovacích tabulek vybrat nejlepší z hlediska požadavků zákazníka a následně zpracovat technickou dokumentaci, včetně nákladů.

**INNOVATION OF THE MACHINE TO REWINDING ELECTRODE WITH HIGH VOLTAGE
WITH A CONSTANT TENSION****ANNOTATION:**

The graduation thesis describes design of mechanism for rewind high-voltage electrode under constant tension, mechanical stress. The work presents customer's requirements, plans innovation, defines customs technical needs, investigates contemporary condition of engineering in given area... The main goal is to present a few variants of problem solving (with support of methods of innovation engineering), using decision tables to single out the best from the customer's requirements perspective and then prepare the technical documentation including cost.

Klíčová slova: PŘEVÍJENÍ, TŘENÍ ZA NÍZKÝCH RYCHLOSTÍ, POHONY PRO NÍZKÉ RYCHLOSTI, STÁLÉ NAPĚTÍ PŘI PŘEVÍJENÍ

Key words: REWIND, FRICTION ON LOW-SPEED, DRIVE FOR LOW-SPEED, CONSTANT STRESS DURING REWIND

Obsah

<u>1</u>	<u>CÍLE PRÁCE.....</u>	<u>14</u>
1.1	POTŘEBNÉ FUNKCE	14
1.2	DŮLEŽITÉ FUNKCE	14
1.3	TECHNICKÉ DETAILS	15
<u>2</u>	<u>PLÁNOVÁNÍ PROJEKTU</u>	<u>17</u>
2.1	HARMONOGRAM.....	17
2.2	NĚKTERÉ DOPLŇUJÍCÍ INFORMACE	18
2.3	INOVAČNÍ PŘÍLEŽITOST	21
2.4	INOVAČNÍ ZÁMĚR	22
2.5	INOVAČNÍ PROHLÁŠENÍ.....	22
2.6	REVIZE VÝSTUPŮ	23
<u>3</u>	<u>ROZBOR ZADÁNÍ Z HLEDISKA ZÁKAZNICKÝCH POŽADAVKŮ</u>	<u>25</u>
3.1	INTERPRETACE ZÁKAZNICKÝCH POTŘEB.....	26
3.2	AFINNÍ DIAGRAM	26
3.3	ROZPRACOVÁNÍ POTŘEB DO ÚROVNÍ.....	28
3.4	RELATIVNÍ VÝZNAMNOST JEDNOTLIVÝCH POTŘEB.....	29
3.5	SROVNÁNÍ POTŘEB S KONKURENCÍ.....	30
3.6	TECHNICKÉ CHARAKTERISTIKY VÝROBKU	31
3.7	KORELACE POŽADAVKŮ A CHARAKTERISTIK.....	31
3.8	URČENÍ VÝZNAMNOSTI TECHNICKÝCH PARAMETRŮ	31
3.9	SROVNÁNÍ PARAMETRŮ S KONKURENCÍ.....	32
3.10	KVANTIFIKACE TECHNICKÝCH PARAMETRŮ	32
3.10.1	VÝPOČTY NĚKTERÝCH CÍLOVÝCH VÝROBKOVÝCH SPECIFIKACÍ	33
3.11	KORELACE CHARAKTERISTIK	35
<u>4</u>	<u>PRŮZKUM SOUČASNÉHO STAVU TECHNIKY V DANÉ OBLASTI.....</u>	<u>36</u>
4.1	DEKOMPOZICE VÝROBKU	36
4.2	PATENTOVÉ REŠERŠE, BENCHMARKING	37

4.2.1	UKÁZKA RELEVANTNÍCH VÝSLEDKŮ VYHLEDÁVÁNÍ	38
4.3	TŘENÍ ZA NÍZKÝCH RYCHLOSTÍ	43
4.4	POHONY PRO NÍZKÉ RYCHLOSTI	44
4.5	RYCHLOPŘEVÍJENÍ.....	45
<u>5</u>	<u>NÁVRH ŘEŠENÍ POMOCÍ METOD KREATIVNÍHO ŘEŠENÍ PROBLÉMU</u>	<u>46</u>
5.1	BRAINSTORMING	46
5.1.1	JAKÉ ZPŮSOBY LZE VYUŽÍT PRO NAPÍNÁNÍ DRÁTU?	47
5.1.2	JAK ZPŮSOBY LZE VYUŽÍT PRO BRZDĚNÍ? JAK LZE NA DRÁT PŘENÉST SÍLU?	47
5.1.3	JAK LZE DRÁT DEFINOVANĚ NAVÍJET?	48
5.1.4	JAK ODSTRANIT PROBLÉMY TŘENÍ SPOJENÉ S NÍZKOU RYCHLOSTÍ?	48
5.2	KOMBINAČNÍ TABULKA	48
5.3	VYBRANÉ VARIANTY ŘEŠENÍ	48
5.3.1	DEFINOVÁNÍ SYMBOLIKY PRO SCHÉMATA	49
5.3.2	A	49
5.3.3	B.....	50
5.3.4	C.....	51
5.3.5	D	53
5.3.6	E.....	53
5.3.7	F.....	54
<u>6</u>	<u>VÝBĚR A OVĚŘENÍ NÁVRHŮ ŘEŠENÍ</u>	<u>56</u>
6.1	ROZHODOVACÍ TABULKY	56
6.1.1	HRUBÉ ROZHODOVÁNÍ.....	58
6.1.2	DETAILNÍ ROZHODOVÁNÍ.....	58
6.1.3	ALTERNATIVY VÍTĚZNÉHO ŘEŠENÍ	60
6.2	INTERVIEW, OVĚŘENÍ DOSAVADNÍCH VÝSLEDKŮ	61
<u>7</u>	<u>VYTVOŘENÍ TECHNICKÉ DOKUMENTACE</u>	<u>62</u>
7.1	PARAMETRY ZAŘÍZENÍ.....	62
7.1.1	OBEČNÉ PARAMETRY	63
7.1.2	PARAMETRY POHONU	63
7.1.3	PARAMETRY „BRZDY“	64
7.1.4	PARAMETRY SNÍMAČŮ	65

7.2	HRUBÝ NÁVRH KONSTRUKCE	65
7.2.1	VÝBĚR NAKUPOVANÝCH KOMPONENT A DODAVATELŮ	66
7.2.2	VLASTNÍ NÁVRH KOMPONENT	67
7.3	VÝPOČTY STROJNÍCH SOUČÁSTÍ	67
7.4	APLIKACE DFX	68
7.5	KONEČNÝ NÁVRH VÝROBKU.....	69
7.5.1	STRUČNÝ POPIS ZAŘÍZENÍ.....	69
7.5.2	PŘEHLED VYBRANÝCH PARAMETRŮ ZAŘÍZENÍ.....	70
7.5.3	POKYNY PRO PROVOZ ZAŘÍZENÍ	71
8	<u>STANOVENÍ NÁKLADŮ NA VÝROBU</u>	<u>72</u>
8.1	NAKUPOVANÉ KOMPONENTY	72
8.2	VYRÁBĚNÉ KOMPONENTY	72
	<u>ZÁVĚR.....</u>	<u>73</u>
	<u>SEZNAM LITERATURY</u>	<u>75</u>
	<u>SEZNAM PŘÍLOH.....</u>	<u>76</u>

Seznam tabulek a obrázků

Tabulky

Tab. 1 Hrubý harmonogram.....	18
Tab. 2 Inovační prohlášení.....	23
Tab. 3 Shrnutí otáček navíjecí cívky.....	34
Tab. 4 Ukázka klíčových slov pro vyhledavač	38
Tab. 5 Hrubé rozhodování	58
Tab. 6 Seřazená kritéria	59
Tab. 7 Detailní rozhodování.....	60

Obrázky

Obr. 1 Schéma převíjení drátu	15
Obr. 2 Ukázka zástavby zařízení pro převíjení drátu do technologie ⁰	19
Obr. 3 Znázornění fází projektu	24
Obr. 4 Obsah domu jakosti	25
Obr. 5 Afinní diagram: Sepsání potřeb	27
Obr. 6 Afinní diagram: Seskupení	27
Obr. 7 Afinní diagram: Přeskupení	28
Obr. 8 Afinní diagram: Pojmenování.....	28
Obr. 9 Zákaznické potřeby v QFD.....	29
Obr. 10 Relativní významnost v QFD	29
Obr. 11 Srovnání potřeb s konkurencí v QFD	30
Obr. 12 Technické charakteristiky v QFD	31
Obr. 13 Korelace požadavků a charakteristik v QFD	31
Obr. 14 Určení významností technických parametrů v QFD.....	32
Obr. 15 Srovnání parametrů s konkurencí v QFD	32
Obr. 16 Kvantifikace technických parametrů v QFD	33
Obr. 17 Schéma k výpočtu obvodové rychlosti	34
Obr. 18 Korelace charakteristik v QFD	35
Obr. 19 Schéma výrobku	36
Obr. 20 Zaříznuté lano, lano navíjené bez zátěže, překroucené lano ⁰	38

Obr. 21 Navíjecí zařízení s „odkládacím“ mechanismem ⁰	39
Obr. 22 Využití lineárního vedení pro definované navíjení (se servomotorem vlevo, s přímou vazbou na pohon vpravo) ⁰	39
Obr. 23 Regulace rychlosti navíjení ⁰	40
Obr. 24 Pásový podavač ⁰	40
Obr. 25 Zařízení pro navíjení ⁰ ; Způsob přenosu síly na lano ⁰	41
Obr. 26 „Tlačný“ podavač drátu pro svářečku ⁰	41
Obr. 27 „Opásaný“ podavač drátu pro svářečku ⁰	42
Obr. 28 Brzdňý systém navíječky ADAS ⁰	42
Obr. 29 Velikost třecí síly v čase [FY1 1997]	43
Obr. 30 Závislost tření na rychlosti ⁰	44
Obr. 31 Schéma konceptu A	50
Obr. 32 Schéma konceptu B	51
Obr. 33 Schéma konceptu C	52
Obr. 34 Schéma konceptu D	53
Obr. 35 Schéma konceptu E.....	54
Obr. 36 Schéma konceptu F.....	55
Obr. 37 Funkční schéma konečného řešení	62

Seznam symbolů, zkratek a termínů

Symbols

Symbol	Význam	Základní jednotka
D	vnější průměr	m
d	vnitřní průměr	m
d_s	průměr stříhu čípku	m
f	součinitel tření	-
F	síla	N
F_{bp}	tečná síla na obvodu brzdy	N
F_{min}	minimální vstupní síla	N
F_p	přenesená síla	N
h	výška	m
i_b	převodový poměr	-
k	bezpečnost	-
l_p	výpočtová délka pera	m
M_{bp}	brzdny moment na brzdě za pracovní rychlosti	N·m
M_p	moment pohonu	N·m
n	otáčky	s ⁻¹
n_{bp}	otáčky brzdy při rychloposuvu	s ⁻¹
n_{kpsp}	pracovní otáčky kladky přenosu síly	s ⁻¹
n_{kpsr}	otáčky kladky přenosu síly při rychloposuvu	s ⁻¹
n_{nn}	otáčky navinuté navíjecí cívky	s ⁻¹
n_{nnr}	otáčky plné navíjecí cívky při rychloposuvu	s ⁻¹
n_{np}	pracovní otáčky navíjecí cívky	s ⁻¹
n_{npr}	otáčky prázdné navíjecí cívky při rychloposuvu	s ⁻¹
P	výkon	W
p	měrný tlak cívky	MPa
p_D	dovolená měrný tlak	MPa
r	poloměr	m
r_b	poloměr brzdy	m

r_{kps}	poloměr kladky přenosu síly	m
r_{nn}	poloměr navinuté navíjecí cívky	m
r_{np}	poloměr prázdné navíjecí cívky	m
r_p	poloměr umístění pera	m
S	plocha	m ²
t_I	výška pera v náboji	m
v	obvodová rychlost	m·s ⁻¹
V	objem	m ³
v_{bp}	obvodová rychlost brzdy při rychloposuvu	m·s ⁻¹
V_n	objem navíjecí cívky	m ³
V_o	objem odvíjecí cívky	m ³
v_p	pracovní rychlost drátu	m·s ⁻¹
v_r	rychlost rychloposuvu	m·s ⁻¹
Σ	suma, součet	-
α	úhel opásání	rad
η_b	účinnost převodu před brzdou	-
τ_{DS}	dovolené smykové napětí	MPa
τ_S	smykové napětí	MPa

Zkratky a termíny

Zkratka	Význam
a. s.	akciová společnost
ABS	antiblokovací systém
max.	Maximálně
např.	Například
NC	navíjecí cívka
OC	odvíjecí cívka
PC	osobní počítač
PID	druh regulátorů s proporčním, integračním a derivačním členem
pozn.	Poznámka
PP	pracovní prostor
QFD	Duality function deployment...Dům kvality

s. r. o.	společnost s ručením omezeným
str.	Strana
TRIZ	tvorba a řešení inovačních zadání
tzv.	to znamená

1 Cíle práce

Cílem práce je inovace zařízení určeného k převíjení elektrody vysokého elektrického napětí pod stálým tahem (mechanickým napětím). Jedná se o drátovou elektrodu (dále drát) sloužící pro elektrostatické zvlákňování polymerních roztoků, výrobu nanovláken. Majitelem mnoha patentů na tuto technologii a další zařízení je firma ELMARCO, s. r. o., které je současně zadavatelem této práce.

Cílem je vyvinout zařízení skládající se z jedné navíjecí cívky a jedné cívky odvíjecí, tedy jedné cívky hnané a jedné brzděné. Převíjenou elektrodou bude nerezový drát o průměru 0,24 mm. Síla potřebná pro přetržení takového drátu se pohybuje kolem hodnoty 100 N. Zařízení by tedy tuto sílu mělo respektovat, potažmo by ji nemělo překročit. Překročením by pravděpodobně došlo k přetržení drátu a vznikla by „porucha“. Mezi cívkami bude prostor (dále označovaný jako pracovní prostor stroje) vyhrazený pro vlastní tvorbu nanovláken. Do pracovního prostoru nemohou zasahovat žádné části navrhovaného převíjecího zařízení.

V rámci plnění úkolu by měla proběhnout analýza postupů pro převíjení drátu (motor/motor, motor/brzda, ...), popis nároků systémů (včetně mezních stavů přetržení a rozjezdu) a výběr varianty včetně konstrukčního zpracování.

1.1 Potřebné funkce

- Při startu zařízení se napne drát a bez převíjení bude držet v napjatém stavu.
- Zařízení bude převíjet drát za stálé napjatosti pracovní rychlostí.
- Zařízení bude schopno rychle převinout drát o délku pracovního prostoru a poté ho bude držet napnutý bez dalšího převíjení.
- Při přetržení drátu (poruše) bude chod zařízení zastaven a obsluze bude signalizována chyba.
- Zařízení bude schopno regulace napětí v drátu.

1.2 Důležité funkce

- Rozměry navrhovaného zařízení musí být co možná nejmenší z důvodu nedostatku místa.

- Převíjení drátu bude plynulé bez přeskokování. Pohony s vyššími převody ($>30 : 1$) způsobovali mechanické vůle, které firma při vývoji nebyla schopna vykompenzovat.
- Zařízení by mělo být kompaktní (např.: jeden frekvenční měnič pro všechny pohony, ...)

1.3 Technické detaily

Cívky zařízení

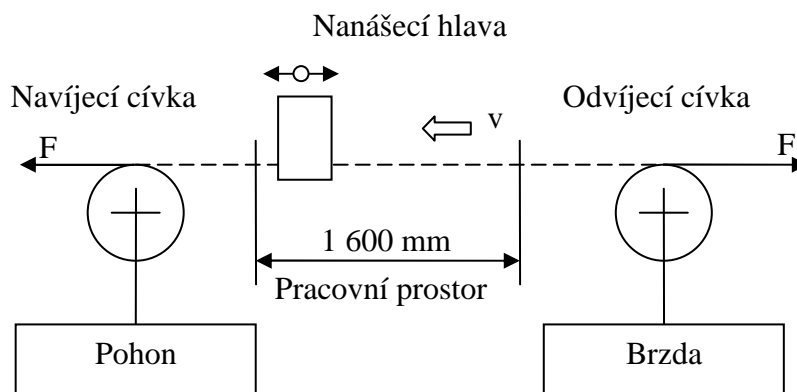
- Poloměr prázdné navíjecí cívky: 30 mm
- Poloměr navinuté navíjecí cívky: 35 mm
- Poloměr prázdné odvíjecí cívky: 35 mm
- Poloměr navinuté odvíjecí cívky: 45 mm

Pracovní prostor:

- Délka pracovního prostoru 1 600 mm

Elektroda

- Maximální tahová síla v drátu: 100 N
- Průměr drátu: 0,24 mm
- Pracovní rychlost drátu: 1 600 mm/20 min
 $\sim 4/3 \text{ mm/s} \sim 1,333 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$
 $\sim 0,00133 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
- Rychlost drátu při rychloposuvu: 1 600 mm/10 s
 $\sim 160 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$
 $\sim 0,16 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$



Obr. 1 Schéma převíjení drátu

Schéma převíjení drátu (obr. 1) znázorňuje brzděnou odvíjecí cívku, z které je veden drát pracovním prostorem na poháněnou navíjecí cívku. Drát je naznačen čárkovaně, na jeho koncích jsou síly poukazující na přítomnost mechanického napětí. Šipka v pracovním prostoru ukazuje směr převíjení drátu. V pracovním prostoru se nachází nanášecí hlava, která se v něm pohybuje vratným pohybem, nanáší polymer na drát.

2 Plánování projektu

Nedílnou součástí každého projektu (práce) by mělo být jeho „alespoň“ základní naplánování (stanovení termínů kontrol, odevzdání, prezentace, stanovení cílů, ...) vyskytující se hned v úvodní fázi. Obecná poučka praví: „Plánovat by se mělo do takové míry, která je ekvivalentní, čili náklady na plánování by neměli přesáhnout náklady na nápravu škody vzniklé nenaplánováním.“ Plánování by mělo odpovědět na celou řadu otázek, jak jsou: Co je cílem? Do kdy má být tento cíl splněn? Jaké prostředky jsou k dispozici? Kolik nákladů může být na projekt vynaloženo? Kde se bude projekt realizovat? Kdo se na projektu bude podílet? Existuje jistě ještě mnoho dalších otázek, které by měly být v plánování zodpovězeny. V této kapitole bude projekt naplánován. Příloha 1: Zadávací list obsahuje základní dokument projektu.

Cíl projektu se obvykle pro svojí složitost rozkládá do dílčích pod cílů, hlavní činnost do podčinností (úkolů). Výhodou tohoto rozkladu je podrobnější popis cesty k dosažení cíle, umožňuje snazší kontrolu, zda se projekt pohybuje správným směrem. Příloha 2: Seznam úkolů ukazuje rozklad hlavního cíle na dílčí.

V projektu budou po dokončení některých dílčích úkolu provedeny revize výstupů (diskuse s vedoucím práce). Tyto revize nemusí být a pravděpodobně ani nebudou v práci zaznamenány. Na základě diskuse se budou výstupy z úkolů schvalovat, nebo se do nich budou vřazovat potřebné změny tak, aby vyhověly širší shodě (ani změny a jejich řízení nebudou součástí práce). Na úplném konci celého projektu, jako výstupní revize, bude vytvořena prezentace a DP projde obhajobou, před níž ji přečte oponent a vedoucí. Projekt tedy dostane tři známky jež budou vypovídat o tom, jak úspěšně splnil očekávání. Projektem se zde rozumí zpracování diplomové práce, prezentace a obhajoba před odbornou veřejností. Prezentace nebude součástí plánování.

2.1 Harmonogram

Harmonogram je sestaven tak, aby byla projektová dokumentace odevzdána do termínu stanoveného na 27.5.2011 (datum odevzdání DP). V textu (tab. 2) je uveden hrubý harmonogram, který je ovšem dostačující. Z harmonogramu jsou přibližně patrné termíny zahájení a dokončení hlavních částí projektu (kapitol práce). V plánovaných čase jsou již zahrnuty rezervy na změny a proto bude velmi pravděpodobně dodržen. Vytvoření podrobnějšího harmonogramu by díky náhodným událostem vedlo jen k jeho neustálým změnám a zbytečnému zdržování.

Tab. 1 Hrubý harmonogram

	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen
Plánování	■	■								
Rozbor zákaznických požadavků			■							
Průzkum současných řešení			■	■	■	■				
Kreativní generování řešení				■	■	■	■			
Výběr řešení							■			
Tvorba technické dokumentace							■	■	■	
Stanovení nákladů									■	

2.2 Některé doplňující informace

Tato kapitola sumarizuje některé důležité informace týkající se technologie, jíž má být navrhované zařízení součástí. Jedná se především o informace získané průzkumem patentových spisů a užitných vzorů ve vlastnictví ELMARCO s. r. o., které jsou volně dostupné v elektronické databázi Úřadu průmyslového vlastnictví, dále pak informace z publikace Elektrostatické zvlákňování nanovláken J. Růžickové a informace získané interview.

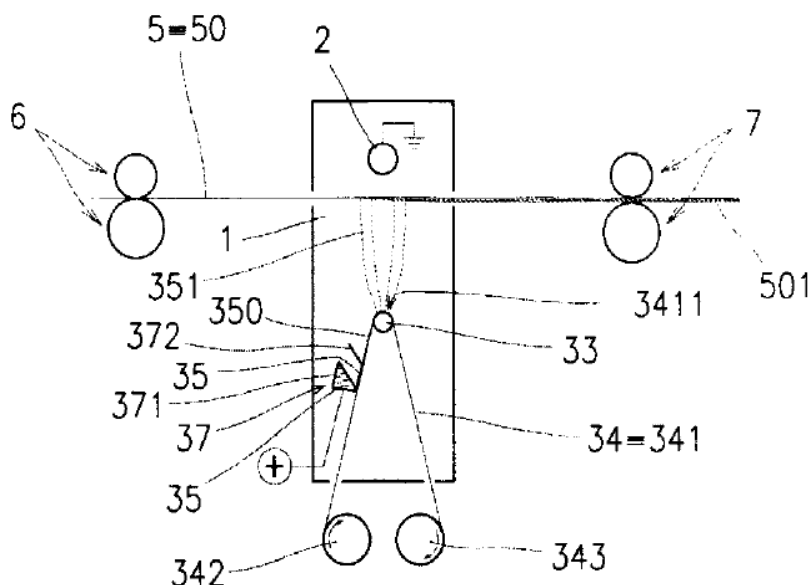
Mezi nejdůležitější patenty pro tento projekt patří CZ 300345 B6⁽¹⁾ chránící zařízení pro výrobu nanovláken elektrostatickým zvlákňováním. To používá jako elektrodu napnutého drátu (struny). V podstatě lze tvrdit, že zařízení vyvíjené tímto projektem by se mohlo stát součástí podobného patentu.

Patent CZ 302039 B6⁽²⁾ obsahuje zařízení izolované pro vysoké napětí v pracovním prostoru. To je velice výhodné zejména kvůli izolaci dalších elektrických zařízení umístěných v dosahu pole vysoké intenzity, kterým by toto napětí uškodilo. Tuto problematiku lépe popisuje spis CZ 301226 B6⁽³⁾, který je přímo zaměřen na zařízení pro generování nebo vyhodnocování elektrický signálů v pracovním prostoru.

⁽¹⁾ dostupné z <<http://isdv.upv.cz/portal/pls/portal/portlets.pts.det?xprim=1027575&lan=cs>>

⁽²⁾ dostupné z <<http://isdv.upv.cz/portal/pls/portal/portlets.pts.det?xprim=1060845&lan=cs>>

⁽³⁾ dostupné z <<http://isdv.upv.cz/portal/pls/portal/portlets.pts.det?xprim=1060846&lan=cs>>



Obr. 2 Ukázka zástavby zařízení pro převíjení drátu do technologie ⁽⁴⁾

Na obrázku výše (obr. 2) je znázorněna jedna z možných zástaveb zařízení pro převíjení drátu do technologického celku. Zařízení může být do celku zastavěno i jinak. Odvíjecí cívku si lze představit pod čísle 342 a navíjecí 343.

Poznatky z průzkumu patentů a literatury:

Elektrické pole musí splňovat kvalitativní i kvantitativní nároky, aby ho bylo možné využít pro proces výroby nanovláken elektrostatickým zvlákňováním. Mezi elektrodami musí být zachována minimální vzdálenost. To proto, aby se sousední elektrická pole neovlivňovala; to by narušilo proces výroby nanovláken. Pro zamezení ovlivnění polí lze použít izolační desku, ta pole odstíní. Snížení intenzity pole vede současně ke snížení intenzity výrobního procesu, nebo dokonce k jeho znemožnění.

Polymer je vodivý a při procesu zvlákňování je pod elektrickým napětím. Jelikož se zařízení skládá i z dalších vodivých částí, je třeba dbát zvýšené bezpečnosti a dodržovat bezpečnostní normy týkající se dotyku živých částí. Nezabezpečené napětí může způsobit škodu jak na zdraví, tak na majetku.

Polymer je rozpuštěný ve vodě nebo jiném rozpouštědle; má tendenci zasychat. Přisychá k povrchům a postupně mění viskozitu, čímž pro daný proces degraduje (jedním z hlavních faktorů ovlivňujících kvalitu procesu je viskozita polymeru). Zvýšení viskozity polymeru se může dít pomocí jeho zahřátí, nebo zahřátí částí s nímž přichází do kontaktu.

⁽⁴⁾ dostupné z <<http://isdv.upv.cz/portal/pls/portal/portlets.pts.det?xprim=1080761&lan=cs>>

Elektroda zařízení může být vystavena střídavému napětí, či odporovému ohřevu. V pracovním prostoru bude vystavena působení polymerního roztoku. Většina používaných rozpouštědel je podle materiálu polymeru na bázi kyseliny, louhu, nebo vody. Navíc je elektroda vystavena působení elektrického pole a teploty jak při předehřevu, tak při vlastním výrobním procesu. To na ni klade nároky co se týče korozní a chemické odolnosti. Teploty procesu však nejsou nikterak velké. Při výstupu z procesu se na elektrodě pravděpodobně budou nacházet zbytky nevyužitého polymeru způsobující nerovnoměrnost povrchu, změny v tření a další obtíže, proto by bylo nejlépe zbytky polymeru z elektrody odstranit (nikoli však stíráním, to způsobí výkyvy napětí). Nejlepším způsobem je očištění rozpouštědlem nebo opal.

Pro konkrétní představu polymery a jejich rozpouštědla jsou uvedena v publikaci J. Růžičkové [EZN 2006] na stranách 15 a 16 v Tab.1 ... Na následující straně 17 jsou pak v tab.2 uvedeny procesní teploty vybraných polymerů. Procesní teplota se pohybuje v oblasti 200 až 290 °C. Na straně 21 obrázek ukazuje závislost elektrického proudu na napětí (z toho napětí 5 až 11 kV, proud 0 až 500 nA). Autorka popisuje technologii jen povrchně (z pochopitelných důvodů nejsou odhaleny detaily), pro její hlubší zkoumání a poznání dalších závislostí by bylo potřeba se problematice dále věnovat. Pro účel tohoto projektu jsou nabyté informace dostatečné (v případě hrubých nedostatků budou dále doplněny). Projekt se nezabývá technologií výroby nanovláken, ale pouze navržením zařízení pro převíjení drátu (elektrody vysokého elektrického napětí) pod stálým tahem.

Interview na téma: Doplnění zadání

Kvůli vyjasnění některých detailů týkajících se zadání se uskutečnilo interview mezi autorem a vedoucím práce, který již byl s kompletním zadáním a jeho úskalími obeznámen zadavatelem.

Otázka: „*Je nutné přímé vedení drátu v pracovním prostoru, jsou povoleny změny směru (výchyly vlivem navíjení a odvíjení)?*“

Odpověď: „*Ano, přímé vedení v pracovní oblasti je nutné.*“

Pozn.: To, jak bude přímé vedení zajištěno není rozvedeno. Může se jednat o vedení šterbinou, průvlakem kladek, samovolné, ...

Otázka: „*Jak moc se drát opotřebuje, nebylo by možné (chtěné) i reverzní převíjení? Má být vinutí jednosměrné?*“

Odpověď: „*Ne, zařízení nebude mít reverzi.*“

Pozn.: Zařízení tedy nebude mít reverzní pracovní otáčky. Bude zachovávat pouze jeden směr, maximálně lze uvažovat o zpětném napínání elektrody. To pravděpodobně vlivem technologie, kterou zařízení obstarává.

Otázka: „*Není vedení drátu pracovním prostorem zajištěno jiným členem, např.: vaničkou s polymerem?*“

Odpověď: „*Cizí vedení neuvažujte. Vedení bude obstarávat především toto navrhované zařízení.*“

Otázka: „*Je nutné rychlopřevíjení drátu o délku 1 600 mm?*“

Odpověď: „*Tento požadavek nemusí být splněn.*“

Otázka: „*Obvodová rychlost je závislá na poloměru, který se u navíjecí (poháněné) cívky bude měnit. Má být tedy konstantní obvodová rychlost, nebo mají být konstantní otáčky?*“

Odpověď: „*Primárně by měla být dodržena rychlost drátu.*“

Otázka: „*V jakých přesnějších hodnotách má být tahová síla v drátu regulována?*“

Odpověď: „*Pro představu 50 až 100 N, ale tento údaj není nikterak podstatný.*“

2.3 Inovační příležitost

Pro výrobek byly identifikovány tyto inovační příležitosti:

- drát se bude do zařízení snadno zavádět
- cívky se budou do zařízení snadno vkládat a zároveň se z něj budou snadno vyjímat
- uživatel má možnost regulovat tahovou sílu drátu
- udržení tahové síly bude automatické
- zařízení umí udržet napnutý drát stálou silou bez pohybu a to při startu i zastavení
- zařízení bude převíjet drát pracovní rychlostí s konstantní tahovou silou
- uživatel má možnost rychle převinout drát o délku pracovního prostoru
- zařízení má indikaci přetržení drátu a varovný systém upozorňující uživatele
- zařízení bude co možná nejmenší, nejlehčí, nejjednodušší, ...
- zařízení bude navíjet na drát rovnoměrně
- zařízení bude mít přímé vedení drátu pracovním prostorem

- zařízení zachová konstantní rychlost drátu a nikoli otáčky navíjecí cívky
- zařízení bude využívat jen blízké zdroje energie
- zařízení bude možno napojit na výpočetní techniku
- zařízení bude možno snadno použít pro celek technologie výroby nanovláken
- zařízení se bude snadno multiplikovat (vedení několik elektrod)

2.4 Inovační záměr

Navrhněte zařízení pro převíjení drátu (elektrody vysokého elektrického napětí), které se bude snadno obsluhovat (zavádění drátu, vkládání a vyjímání cívek, ...), multiplikovat, „spojovat“ s výpočetní technikou a začleňovat do celku (výroby nanovláken); zařízení, kde bude uživatel mít možnost nastavovat tahovou sílu elektrody, která bude mít automatickou regulaci na tuto nastavenou hodnotu, které bude při startu, běhu i zastavení automaticky napínat drát; dále bude automaticky regulovat rychlost převíjení drátu tak, aby byla konstantní; uživatel bude moci rychle převinout elektrodu o délku pracovního prostoru. V zařízení bude varovný systém poruch pro přetržení drátu, přímé vedení drátu pracovním prostorem a rovnoměrné navíjení.

2.5 Inovační prohlášení

Inovační prohlášení sumarizuje směry fáze vývoje zařízení. Je to jeden z nejdůležitějších kroků plánování inovace.

Tab. 2 Inovační prohlášení

Klíčový přínos	Vyvinutí zařízení pro převíjení drátu z jedné cívky na druhou za stálé rychlosti a mechanického napětí. Zajištění kvalitní podpory technologie výroby nanovláken pro daný celek. Možnost využití jednotlivých částí zařízení, nebo rozvinutí myšlenek v jiných průmyslových odvětvích narážejících na podobné problémy.
Klíčové obchodní cíle	Úspěch výrobku u zákazníka. Jeho integrace do procesu výroby nanovláken na daném celku, další vývoj zařízení.
Primární trh	Podniky průmyslově vyrábějící nanovlákná a zařízení na jejich výrobu.
Sekundární trh	Společnosti zabývající se výzkumem nanovláken a zařízení pro jejich výrobu. Další podniky pracující se „dráty“.
Předpoklady a omezení	Včasná právní ochrana proti kopírování.
Účastníci inovačního procesu	Bc. Jan Kasal, (prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc., TUL, Ing. Milan Nýdrle, LMARCO, s. r. o.)

2.6 Revize výstupů

Revize výstupů by měla být provedena pečlivě, je to totiž fáze, ve které jsou náklady na opravy nejmenší, ale hlavně plánování určuje celý průběh dalšího projektu. Samozřejmě je zde místo vyhrazeno pro změny, protože neexistuje projekt, ve kterém by se změny nevyskytly. To jak se ke změnám a vlastním revizím bude přistupovat již bylo probráno dříve (viz kapitola 2. Plánování projektu). Na ukázkou bude uveden jeden příklad revize, respektive jedna série možných kontrolních otázek.

Jsou naplánované činnosti v logickém pořadí tak, jak půjdou za sebou při plnění projektu?

Proběhlo řádné vyjasnění změn?

Je zadání dostatečné k plnění projektu?

Jsou shromážděny všechny zajímavé inovační příležitosti?

Je na úkoly vyhrazeno dostatek času?

Odpovídají návaznosti harmonogramu logickému řazení úkolů?

Nelze harmonogram zkrátit?

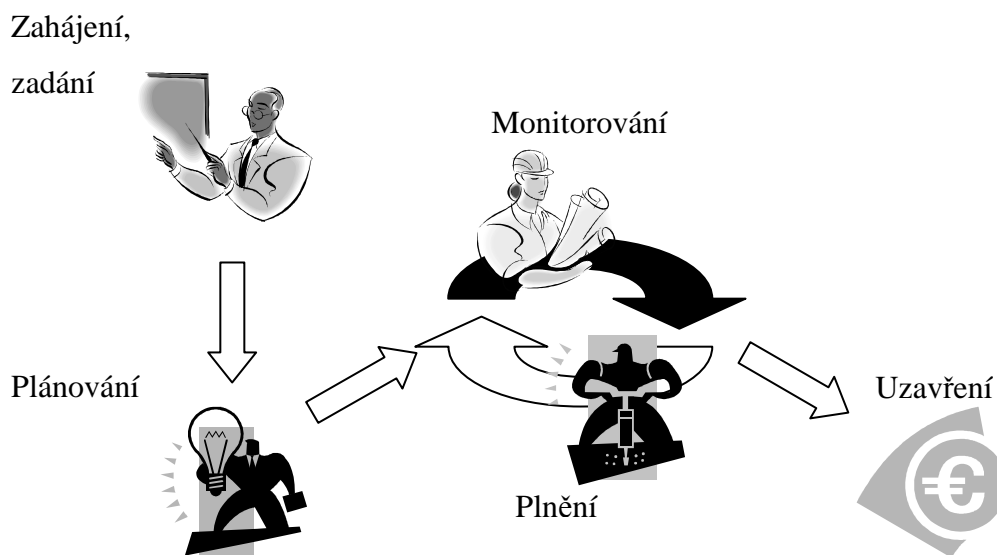
Je inovační záměr sestaven správně?

Jsou stanovené cíle projektu reálné?

Jsou tyto cíle dostatečně náročné?

...

Po zodpovězení všech „ano/ne“ se projekt může posunout do další fáze, kterou je plnění naplánovaných úkolů. K té se většinou u náročnějších projektu připojuje paralelně fáze monitorování. Dochází tak k snížení rizika neodhalení chyby, ke korekci směru jakým se projekt ubírá. Celý projekt se pak dá jednoduše znázornit takto:

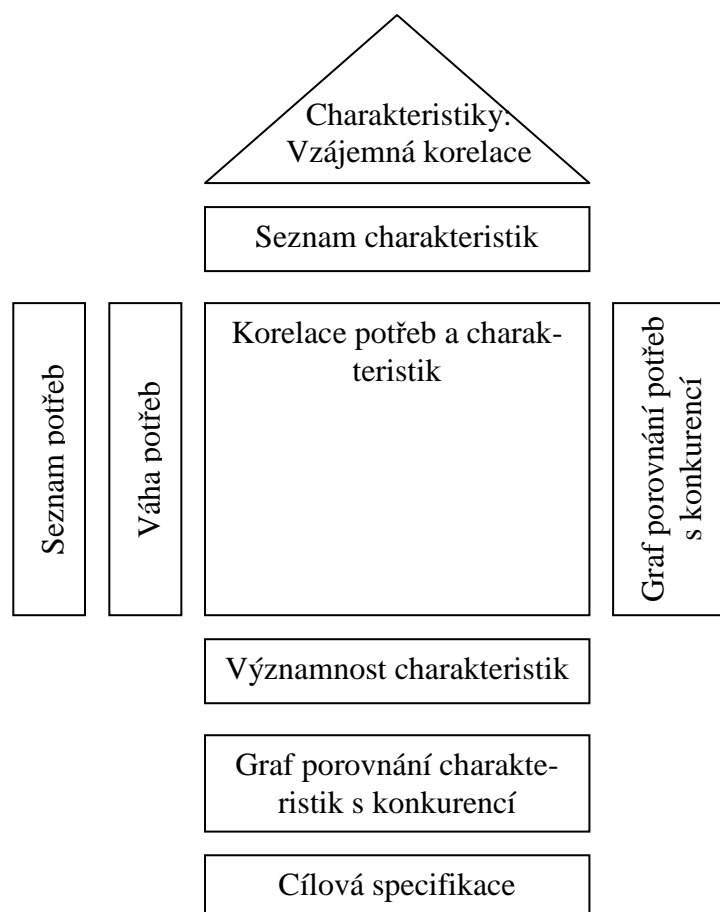


Obr. 3 Znázornění fází projektu

3 Rozbor zadání z hlediska zákaznických požadavků

Úvodem kapitoly jistě není od věci uvést pojem zákazníka tak, jak je zde chápán, na pravou míru. Za zákazníka je primárně považováno ELMARCO, s. r. o. a sekundárně pak TUL resp. Katedra částí a mechanismů stojí v zastoupení vedoucího práce.

Pro maximální uspokojení zákazníka musí být mezi ním a inovačním týmem vytvořen „informační tunel“, kterým lze přímo ovlivňovat vlastnosti a charakteristiky výrobku tak, aby splňoval vše, co si zákazník přeje. Ti, kdož se účastní na inovačním procesu, by měly být plně seznámeni se zákazníkem, s výrobkem a jeho použitím, aby mohli dojít ke správným řešením a kompromisům, aby mohli odhalit všechny inovační příležitosti a poskytnout zákaznickovy naplnění, nebo překonání představ o kvalitním výrobku, který si zákazník nakonec bude mít chuť koupit a koupí si ho. [MII 2006]



Obr. 4 Obsah domu jakosti

V této fázi obvykle inovační proces vede ke sběru dat od zákazníka, pro něž je vhodné použít moderační metody marketingového průzkumu (interview, moderovaná

diskuse), či pozorování zákazníka. Tento projekt už velké množství dat obdržel v předchozích dvou kapitolách, především pak v 1 Představení úkolu, které doplnilo 2.3 Některé doplňující informace a proto další průzkum již nebude proveden.

Moderním přístupem k problematice je metoda QFD, dům jakosti. Pro svou kvalitou a komplexnost bude použita i zde. Dům je postaven na informovanosti o zákaznických potřebách, pozici konkurence, znalosti závislosti obsahu jeho jednotlivých „kapitol“, významnosti, ... Celý záznam QFD je příliš rozsáhlý a proto bude součástí přílohy 5: QFD. V následujícím textu jsou vypsány provedené činnosti vedoucí k jeho kompletnosti. Obr. 4 zachycuje obsah jednotlivých sekcí domu jakosti. Pro zvýšení přehlednosti bude u každého kroku, který se zapisuje do QFD, umístěn obrázek se zvýrazněnou oblastí zápisu, v případě potřeby doplněný komentářem pro zpřesnění.

3.1 Interpretace zákaznických potřeb

Pro interpretaci bude použit jednoduché tabulky (vzor [MII 2006], str.: 62, tab. 3.1 Formulář s interpretovanými zákaznickými potřebami) transformované do odstavcové úpravy, která šetří místem a je minimálně stejně přehledná.

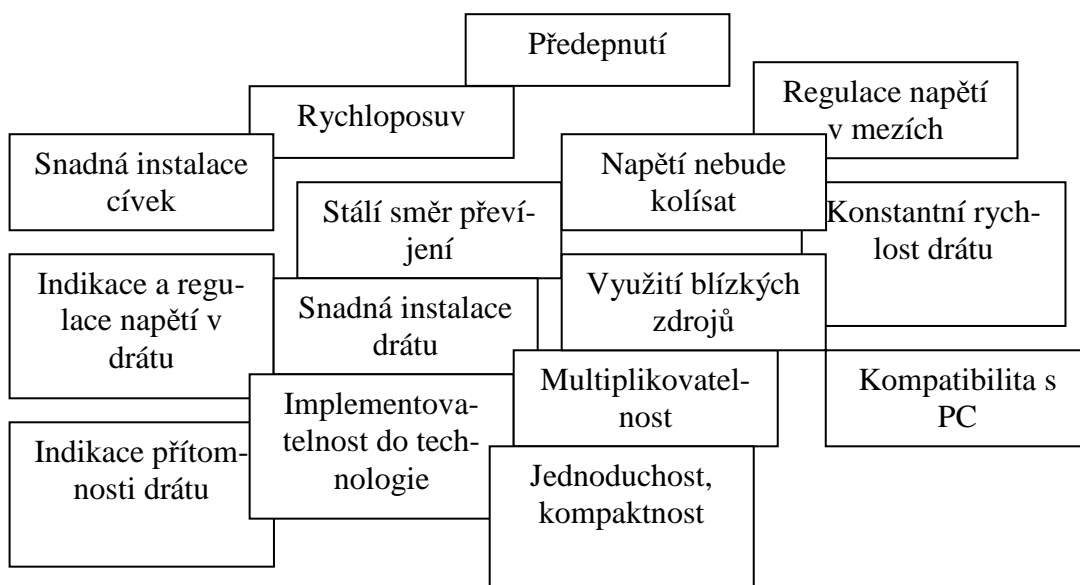
Z uvedených kapitol je nutno vybrat pouze relevantní otázky, odpovědi a interpretace. Interpretace by měla především „přeložit“ zákaznickovu řeč do řeči technické.

- Otázka
 - Vyjádření zákazníka
 - Interpretace potřeby, formule popisující vlastnost (co) a ne způsob řešení (jak). Interpretace by neměla obsahovat slova typu musí, měl byt, měla by naopak být pozitivní. Doporučuje se interpretace tak detailní, jak detailní byl zákazník při odpovědi na dotaz. Příklad interpretací je uveden v díle autorů Mašína a Ševčíka [MII 2006] na str.: 62 tab.3.1... i se zmiňovanými pravidly interpretace níže.

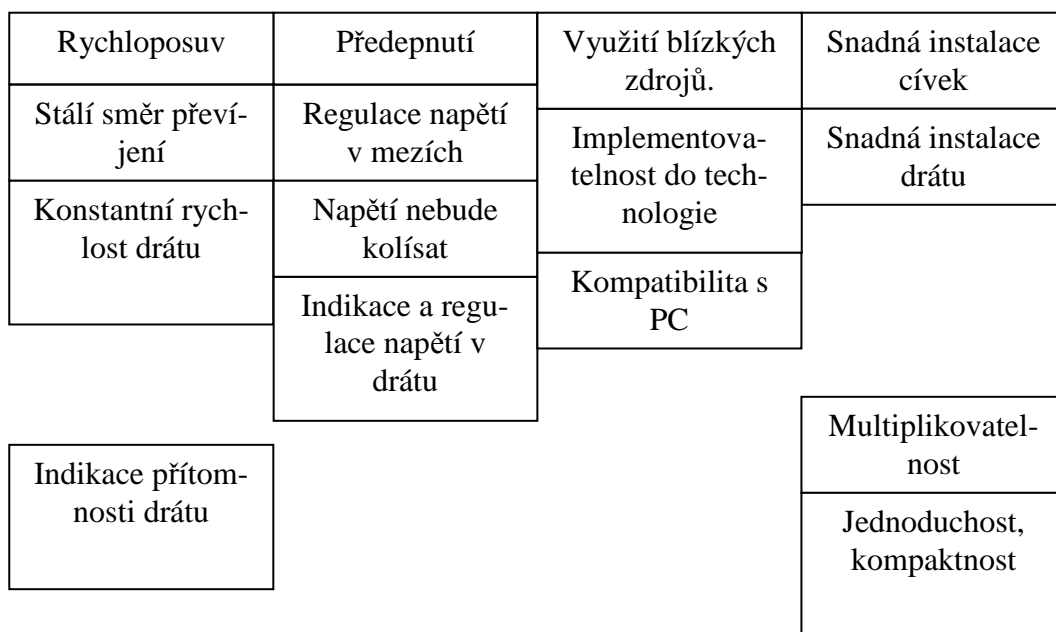
Interpretace potřeb jsou součástí přílohy 3: Interpretace zákaznických potřeb.

3.2 Afinní diagram

Afinního diagramu bude využito pro uspořádání jednotlivých potřeb do funkčních skupin. To bude učiněno na základě intuice autora a konzultace. Postupně budou provedeny kroky sepsání, seskupení, přeskupení (zjednodušení) a pojmenování.



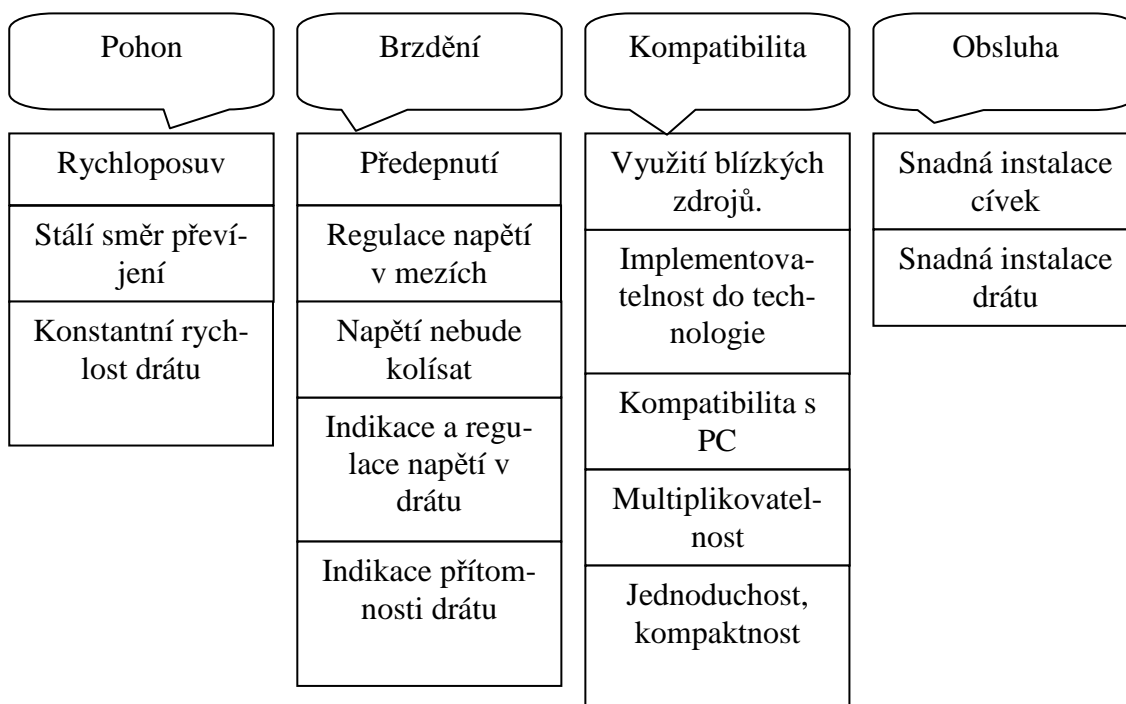
Obr. 5 Afinní diagram: Sepsání potřeb



Obr. 6 Afinní diagram: Seskupení

Rychloposuv	Předeprnutí	Využití blízkých zdrojů.	Snadná instalace cívek
Stálí směr převíjení	Regulace napětí v mezích	Implementovatelnost do technologie	Snadná instalace drátu
Konstantní rychlost drátu	Napětí nebude kolísat	Kompatibilita s PC	
	Indikace a regulace napětí v drátu	Multiplikovatelnost	
	Indikace přítomnosti drátu	Jednoduchost, kompaktnost	

Obr. 7 Afinní diagram: Přeskupení



Obr. 8 Afinní diagram: Pojmenování

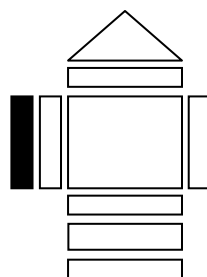
3.3 Rozpracování potřeb do úrovní

Protože interpretace potřeb provedená v předchozím kroku nemusí mít a pravděpodobně ani nemá potřebnou hloubku, bude provedeno jejich zpřesnění rozepsáním do

úrovní. Rozpracování úrovní bude formou podbodů podobně jako tomu bylo v předchozí kapitole (šetří místem). Pro zpřesnění představy následuje příklad rozpisu.

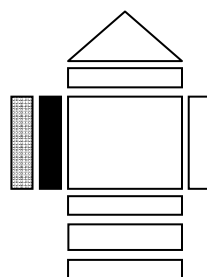
- úroveň 1: snadné to
 - úroveň 1.1: snadná část toho
 - úroveň 1.1.1: snadné protože

Před každým z bodů si lze představit slovo snadné v příslušném tvaru, někde snadný protože má. Takto interpretované a rozpracované zákaznické potřeby se umísťují v QFD podle obr. 9. Samotné rozpracování identifikovaných potřeb je součástí přílohy 4: Rozpracování potřeb do úrovní.



Obr. 9 Zákaznické potřeby v QFD

3.4 Relativní významnost jednotlivých potřeb



Obr. 10 Relativní významnost v QFD

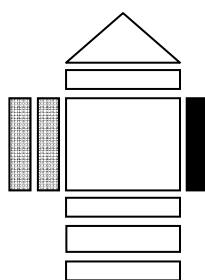
Mašín a Ševčík [MII 2006] na str.: 63 vyslovují názor, že afinní diagram nemá dostatečné rozlišení závažnosti jednotlivých zákaznických potřeb a proto by měl být učiněn krok určení relativní významnosti. Jak autorské duo uvádí je možno použít dvou cest získání správného určení skutečného významu pro zákazníka. Těmi jsou odborný odhad na základě zkušeností a zákaznický průzkum (který je v podstatě nabytím zkušeností k odbornému posouzení). Tato práce využije cesty odborného odhadu autora, který bude diskutován s vedoucím práce (se sekundárním zákazníkem). Stupnice relativní významnosti bude mít devět hodnotících stupňů (1, 2, ..., 9), kde nejsilnější, nejvýznamnější bude číslo 9. Na druhé straně škály se pak logicky nalézá 1 s nejnižší významností. Pro přehlednost se potřeby očíslovají. Relativní významnost bude součástí QFD, kde je označována jako váha.

3.5 Srovnání potřeb s konkurencí

Tento krok slouží k vytvoření grafu hodnocení uspokojení zákaznických potřeb vyvíjeným výrobkem a jedním či víc konkurenčními výrobky. Je zde odhaleno postavení konkurence vůči vyvíjenému výrobku, tudíž možnost navrhnout lepší charakteristiky než-li nabízí konkurence. Graf se zpravidla umísťuje za matici korelace potřeb a charakteristik. Naplnění charakteristiky se hodnotí známkami 1 za nejmenší až 5 za největší uspokojení zákazníka. Znamky jsou přidělovány na základě odborného odhadu inovačního týmu, nebo lépe na základě marketingového průzkumu. Protože výrobek má zatím jen podobu slov, jedná se pouze o charakteristiky, jakými by měl výrobek zákaznické požadavky plnit. K zpřesnění odhadu může dojít např. doplněním při známém prototypu, nebo vyjasněním jakým způsobem budou požadavky uspokojeny.

Porovnané konkurenční výrobky neodpovídají jen na otázku na kolik plní požadavky, ale zároveň i na otázku jak/čím je plní. Např. s výrobkem se snadno zaměřuje, protože má laserový zaměřovač. To může ukázat cesty nejlepšího řešení (jistě převzetí pozitivních vlastností).

Výrobky vybrané pro srovnání lze s výhodou využít v jedno z pozdějších kroků metody QFD (porovnání parametrů s konkurencí). Jejich výběr by neměl být náhodný, naopak by měl být soustředěn na co „nejtvrdší“ konkurenci, nejlepší, nejprodávanější, nejlevnější,... výrobky na trhu. Jestli-že se jedná o výrobek, který konkurenci nemá, je zde možnost „poskládat“ konkurenční výrobek z různých funkcí více konkurenčních výrobků, nebo odborně odhadnout potřebné charakteristiky.



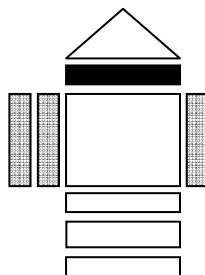
Obr. 11 Srovnání potřeb s konkurencí v QFD

Na trhu bohužel nebyl nalezen žádný přímý konkurent. Nejbližšími konkurenty na trhu jsou navíječky, které ovšem nemají potřebné charakteristiky, pro srovnání jsou tudíž nevhodné. Vzhledem k malým zkušenostem autora nebude konkurent složen z více výrobku a tento krok v QFD bude vynechán.

Poznámka závěrem: Pro srovnání s konkurencí je nutno prozkoumat trh. V této fázi probíhá současně 4. Průzkum současného stavu techniky...

3.6 Technické charakteristiky výrobku

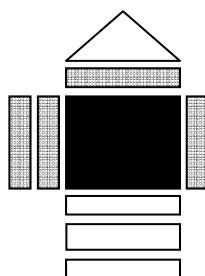
Technickou charakteristikou výrobku je měřitelný parametr, který musí být v rozumné míře zajištěn pro uspokojení zákaznické potřeby. Volené parametry by měly jednoduše měřitelné, to platí i pro konkurenční výrobky. Důvodem bude jejich pozdější kvantifikace. Otázkou však je hloubka takové technické charakteristiky. Zabřednutí do hlubokých technických detailů by mohlo negativně ovlivnit směr vývoje výrobku, a proto by měly být voleny charakteristiky dostačující k uspokojení zákazníka, nezátížené způsobem řešení, který by nutil vydat se jedním směrem. Např. čas demontáže (nezatížená), čas demontáže matice (zatížená charakteristika).



Obr. 12 Technické charakteristiky v QFD

3.7 Korelace požadavků a charakteristik

Krok určující vzájemné postavení všech zákaznických požadavků vůči charakteristikám výrobku. Hodnotí se čtyřmi (9, 3, 1, 0) stupni podle síly souvislosti. Např. požadavek snadného transportu má velmi silný vztah s charakteristikou hmotnost, proto by byl oceněn 9body (těžké předměty se obvykle obtížně transportují), 3body značí slabší závislost, 1bod nejslabší a nevyplnění políčka žádnou (hmotnost nesouvisí se svítivostí). Korelace umožňuje inovačnímu týmu uvědomit si souvislosti.



Obr. 13 Korelace požadavků a charakteristik v QFD

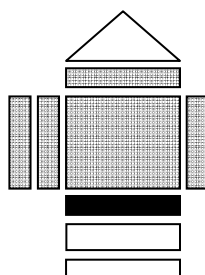
3.8 Určení významnosti technických parametrů

Kapitola se vlastně nezabývá určením významnosti, ale spíše jeho výpočtem z již známých hodnot váhy charakteristiky a síly souvislosti mezi požadavkem a charakteris-

tikou. Významnost se týká technických charakteristik výrobku a proto je uváděna pod korelační maticí. Provádí se pro každou charakteristiku. Významnost se vypočte jako suma násobku váhy požadavku a síly vztahu mezi potřebou a charakteristikou v korelační matici přes všechny požadavky, tedy přes celý sloupec. Matematicky lze významnost zapsat:

$$\text{Významnost} = \sum_{\text{pře všechny požadavky}} \text{váha potřeb} \times \text{síla korelace}.$$

Napomáhá inovačnímu týmu uvědomit si důležitost jednotlivých technických parametrů. Jinými slovy odpovídá na otázku, na které parametry se především zaměřit. Nutno podotknout, že výsledek velmi ovlivňuje zákazník váhou potřeby.

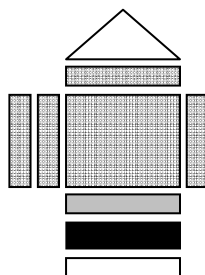


Obr. 14 Určení významností technických parametrů v QFD

3.9 Srovnání parametrů s konkurencí

Pro správné navržení hodnot vlastního výrobku je nezbytné, jak již bylo řečeno výše, poznat hodnoty konkurenčních výrobků. Výrobky pro porovnání byly vybrány již v předchozí kapitole. Porovnání technických parametrů se provádí stejným způsobem jako u porovnání charakteristik výrobku.

Pro případ této práce konkurence neexistuje, proto krok bude přeskočen.



Obr. 15 Srovnání parametrů s konkurencí v QFD

3.10 Kvantifikace technických parametrů

V kapitole budou předběžně stanoveny specifikace výrobku, těm se obvykle říká cílové výrobkové specifikace. Ty nejsou zasaženy reálným omezením fyziky světa, ale i tak „přesně“ definují to, co má (musí) výrobek poskytovat zákazníkovi. Specifikace se

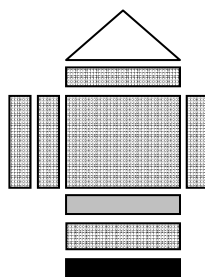
vyjadřují měřitelnou hodnotou. Neurčují však, způsob jak cíle bude naplněny a ani nejsou konečné.

Obecný postup stanovení cílové výrobkové specifikace podle Mašina a Ševčíka [MII 2006] str.: 65 spočívá ve třech krocích, jimiž jsou:

1. vytvoření seznamu fyzikálně měřitelných parametrů vlastního výrobku (tento krok již byl proveden v kapitole 3.6. Technické charakteristiky ...)
2. provedení benchmarkingu, které umožní srovnání vyvíjeného výrobku s konkurencí (krok byl proveden v 3.9. Srovnání parametrů ...)
3. definování vlastních parametrů (konkurenceschopnost výrobku)

Autoři pro stanovení specifikací doporučují využití metody QFD, která samozřejmě obsahuje i další potřebné informace. Je potřeba odvážných, ale střízlivých a dosažitelných navržených hodnot.

V této práci jsou již některé cílové výrobkové specifikace určeny zadáním zákazníka.



Obr. 16 Kvantifikace technických parametrů v QFD

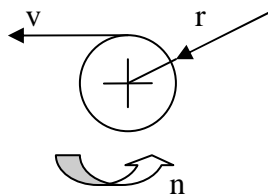
3.10.1 Výpočty některých cílových výrobkových specifikací

K určení některých cílových výrobkových specifikací vyvíjeného zařízení je potřeba tyto hodnoty vypočítat. Výpočty budou provedeny pomocí matematického programu MATHCAD. Výsledky se mohou nepatrně lišit při výpočtu dosazením zaokrouhlených hodnot uvedených ve vzorcích do kalkulačky.

Otáčky zařízení

Obecný vzorec výpočtu otáček n při známé obvodové rychlosti v na poloměru r je

$$n = \frac{v}{2 \cdot \pi \cdot r} . \quad (3.1)$$



Obr. 17 Schéma k výpočtu obvodové rychlosti

Otáčky navíjecí cívky dostaneme dosazením do rovnice (3.1).

Pracovní otáčky prázdné navíjecí cívky n_{np} :

$$n_{np} = \frac{v_p}{2 \cdot \pi \cdot r_{np}} = \frac{0,0013}{2 \cdot \pi \cdot 0,03} = 7,074 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1} \approx 0,424 \text{ min}^{-1}, \quad (3.2)$$

kde v_p ...pracovní rychlost elektrody, r_{np} ...poloměr prázdné navíjecí cívky.

Pracovní otáčky plné navíjecí cívky n_{nn} :

$$n_{nn} = \frac{v_p}{2 \cdot \pi \cdot r_{nn}} = \frac{0,0013}{2 \cdot \pi \cdot 0,035} = 6,063 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1} \approx 0,364 \text{ min}^{-1}, \quad (3.3)$$

kde r_{nn} ...poloměr navinuté navíjecí cívky.

Otáčky prázdné navíjecí cívky pro rychloposuv elektrody n_{npr} :

$$n_{npr} = \frac{v_r}{2 \cdot \pi \cdot r_{np}} = \frac{0,016}{2 \cdot \pi \cdot 0,03} = 0,849 \text{ s}^{-1} \approx 50,929 \text{ min}^{-1}, \quad (3.4)$$

kde v_r ...rychlost rychloposuvu elektrody.

Otáčky plné navíjecí cívky pro rychloposuv elektrody n_{nnr} :

$$n_{nnr} = \frac{v_r}{2 \cdot \pi \cdot r_{nn}} = \frac{0,016}{2 \cdot \pi \cdot 0,035} = 0,728 \text{ s}^{-1} \approx 43,654 \text{ min}^{-1}. \quad (3.5)$$

Z předchozího výpočtu vyplývá, že když má být zachována konstantní rychlost drátu, musí se nutně měnit otáčky navíjecí cívky plynule v závislosti na změně průměru (v závislosti na množství navinutého drátu, který navíjecí cívku obaluje), nebo se navíjení musí dít bez změny poloměru např. pohonem mimo navíjecí cívku.

Tab. 3 Shrnutí otáček navíjecí cívky

Rychlost\průměr	Prázdná cívka	Navinutá cívka
Pracovní rychlost	0,424 min ⁻¹	0,364 min ⁻¹
Rychloposuv	50,929 min ⁻¹	43,654 min ⁻¹

Z předchozí tab. 3 je patrné, že zařízení se bude potýkat s celkovým rozsahem otáček navíjecí cívky od 0,364 min⁻¹ do 50,929 min⁻¹ (při splnění požadovaných roz-

měrů cívek). Dále pro splnění podmínky plynulosti chodu bude zařízení muset navíjet drát co, možná nejrovnoměrněji.

Dalším důležitým technickým detailem je výkon přenášený na hřídel hnané cívky, který pomůže specifikovat hnací ústrojí. Výpočtový vztah výkonu P ze známé síly F působícím poloměru r při otáček n je

$$P = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot F \cdot r. \quad (3.6)$$

Dosažením do rovnice (3.6) se získá výkon potřebný k roztočení navíjecí cívky, při napětí drátu.

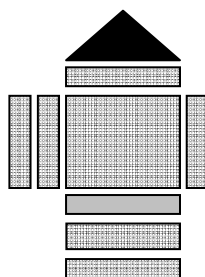
$$P = 2 \cdot \pi \cdot n_{np} \cdot F \cdot r_{np} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{0,424}{60} \cdot 100 \cdot 0,03 = 0,133 \text{ W} \quad (3.7)$$

Potřebný krouticí moment pohonu M_p lze vypočíst ze známé síly F působící na poloměru r_m jako

$$M_p = F \cdot r_m = 100 \cdot 0,035 = 3,5 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (3.8)$$

3.11 Korelace charakteristik

Posledním krokem k dosažení úplného domu jakosti je vyplnění střechy. Střechu představuje trojúhelníková korelační matice korelující vzájemně technické charakteristiky mezi sebou. To dává informaci o možných technických rozporech, či naopak o podpoře charakteristik mezi sebou. Je třeba vzít v úvahu jejich význam, jenž může naznačit která z charakteristik by měla mít přednost.



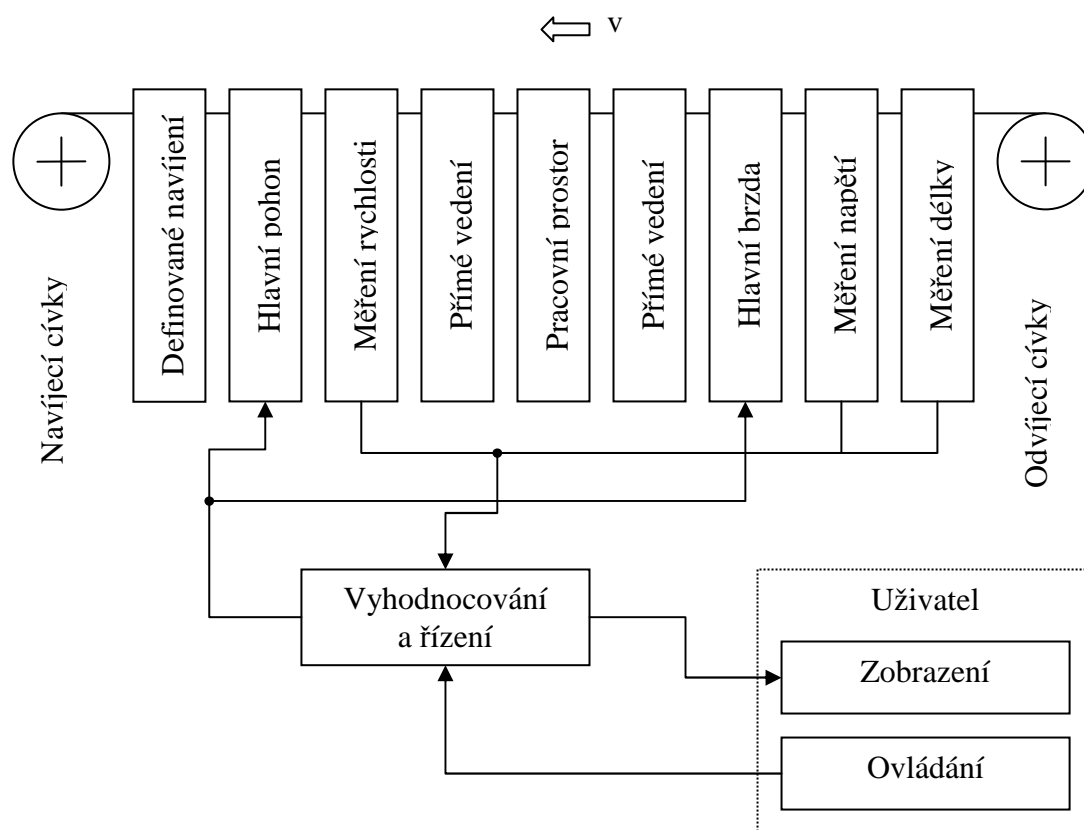
Obr. 18 Korelace charakteristik v QFD

4 Průzkum současného stavu techniky v dané oblasti

K nalezení možných dílčích řešení bude proveden průzkum současného stavu techniky. K tomu bude využito především patentového průzkumu a benchmarkingu. Pro lepší zacílení na technická řešení je třeba provést funkční analýzu výrobku, jeho dekompozici. V této fázi je již třeba brát ohled na fyzikální omezení a možnosti jednotlivých „komponent“.

4.1 Dekompozice výrobku

Dekomponovaný výrobek znázorní blokové schéma jeho funkcí. Ve schématu se již promítnou některé zákaznické požadavky, ne však příliš detailně, aby nestrhávali k směru řešení. Naopak by schéma mělo podporovat kreativitu a otvírat řadu otázek, které by měly vyvstat po jeho přečtení. Této kreativitě bude využito při generování možných řešení.



Obr. 19 Schéma výrobku

4.2 Patentové rešerše, benchmarking

Začátkem kapitoly bude vyjasněn pojem BENCHMARKING. Je to nástroj strategického managementu jehož vznik se přisuzuje firmě Xerox a datuje se na počátek 80. let minulého století. V podstatě se jedná o sebe zlepšovací nástroj v konkurenčním boji, jehož hlavní myšlenka tkví v poznání a sledování konkurence. Nástroj sám o sobě má pět kroků:

1. zjištění vlastní pozice, vlastních slabin
2. zjištění pozice konkurence
3. definování faktorů úspěchu, zjištění předností konkurentů
4. pokus o získání převahy za využití znalostí předností
5. opakování cyklu

Tato práce nebude obsahovat první krok, ale naopak se bude soustředit na následující dva kroky. Především pak na průzkum trhu. Definování faktorů úspěchu pak bude převedeno do QFD. Tyto faktory lze začlenit do seznamu potřeb. Ty potom mohou působit jako jisté nad očekávání zákazníka.

Pro vyhledávání již známých řešení bude použito jednoduše dostupných zdrojů informací. Bude se jednat především o vyhledávání v databázích za pomoci internetu. Pro vyhledávání je tedy nutno určit klíč, respektive klíčová slova, která budou vyhledávána. Vyhledávání bude provedeno několika metodami (vyhledávači). Oblasti z nichž vyvstanou klíčová slova se budou týkat celého zařízení, jeho funkce a nebo jeho zásadních funkcí.

Vyhledávače:

- www.google.com
- www.gogole.com/patents
- <http://patents.com/search>
- <http://www.freepatentsonline.com/>
- <http://isdv.upv.cz/portal/pls/portal/portlets.pta.formular>

Klíčová slova nebudou vyhledávána jen v češtině, ale i v angličtině. To z důvodu malého výskytu česky psaných dat na internetu, naopak angličtina je volena, protože je nejrozšířenější. Následující tabulka (tab. 4) ukazuje některá z klíčových slov pro vyhledávání, tato slova byla pro lepší zacílení psána i v logických frázích.

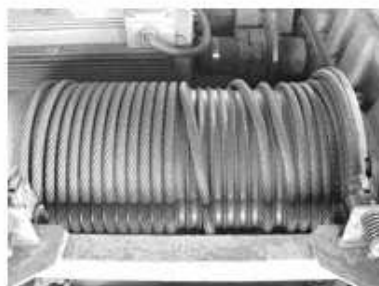
Tab. 4 Ukázka klíčových slov pro vyhledavač

Česky	Anglicky
Podavač	Feeder
Navinout	Reel
Navíjet	Wind up
Lano	Rope
Kabel	Cable
Drát	Wire
Struna	String
Cívka	Coil
Nit	Thread
...	...

4.2.1 Ukázka relevantních výsledků vyhledávání

Z důvodu velkého množství výsledků vyhledávání zde budou uvedeny pouze některé z nalezených stávajících řešení. Ty nejpodstatnější se objeví v následující kapitole, konkrétně v kombinační tabulce dílčích řešení, kde budou doplněna vlastními řešeními.

Rizika při navíjení



Obr. 20 Zaříznuté lano, lano navíjené bez zátěže, překroucené lano ⁽⁵⁾

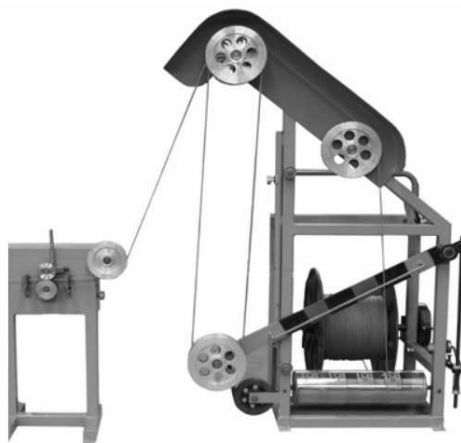
Na stránkách firmy zabývající se prodejem, servisem a konzultací v oblasti vázací techniky lze nalézt zásady pro zacházení s lany, které se dají aplikovat i na případ drátu. Vybrané poučky jsou popsány v následujícím textu a doplněny obr. 20. Pokud se lano navíjí povolené může dojít a mnohdy dochází, k nesprávnému navíjení závitů na buben. Po následném zatížení se lano může zaříznout do závitů navinutých

⁽⁵⁾ dostupné z <<http://www.metallan.cz/tipy-a-doporuceni/manipulace-montaz-a-skladovani-ocelovych-lan.htm>>

v nenapjatém stavu. Častou chybou je i špatné ruční odvíjení lana z cívky, kdy se cívka neotáčí. V takovém případě vznikají překroucení.

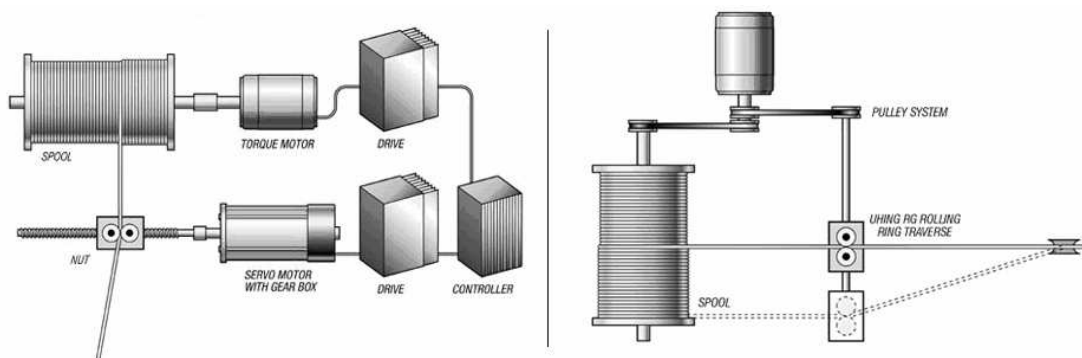
Zásobník

Obr. 21 zachycuje zařízení pro navíjení opatřené „odkládacím“ mechanismem. Ten nakumuluje zásobu drátu a v krajním bodě spustí/vypne navíjecí motor cívky. Odkládací mechanismus zachovává stálé napětí pomocí hmoty jeho páky. Problém tohoto řešení může být v nárůstu napětí při spuštění navíjení, kdy do soustavy vstupují i dynamické síly. Ty jsou ovšem zanedbatelné při zanedbatelném zrychlení.



Obr. 21 Navíjecí zařízení s „odkládacím“ mechanismem ⁽⁶⁾

Lineární vedení při definovaném navíjení



Obr. 22 Využití lineárního vedení pro definované navíjení (se servomotorem vlevo, s přímou vazbou na pohon vpravo) ⁽⁷⁾

Na obr. 22 jsou znázorněny možnosti využití lineárního vedení pro definované navíjení. Je znázorněno navíjení s přímou návazností na pohon navíjecí cívky a navíjení

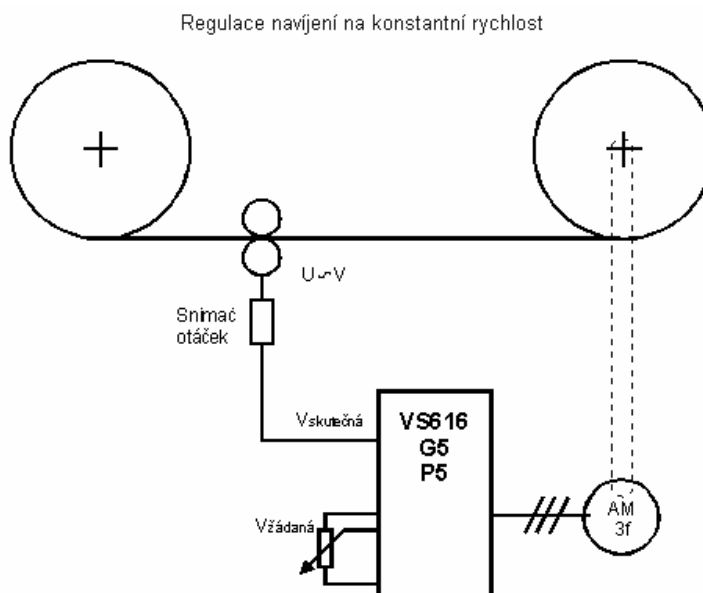
⁽⁶⁾ dostupné z <<http://chinaxinming.en.made-in-china.com/product/FbgJiRDKgepm/China-Automatic-Winding-Machine.html>>

⁽⁷⁾ dostupné z <<http://www.amacoil.com/applications-rg-winding.html>>

s nezávislým servomotorem umožňujícím přesnější navíjení. Prvně zmiňovaný mechanismus nemůže postihovat změny průměru.

Regulace rychlosti

Obr. 23 ukazuje využití PID regulátoru při regulaci rychlosti převíjeného drátu. Podmínkou fungování je snímání otáček a řízení veličin motoru.



Obr. 23 Regulace rychlosti navíjení ⁽⁸⁾

Pásový podavač

Pásový podavač usnadňuje zvedení drátu do zařízení. Nepříjemností však je, že velice komplikuje systém, zvyšuje cenu, snižuje životnost. Jeho nasazení je vhodné především u zařízení s častým zaváděním.



Obr. 24 Pásový podavač ⁽⁹⁾

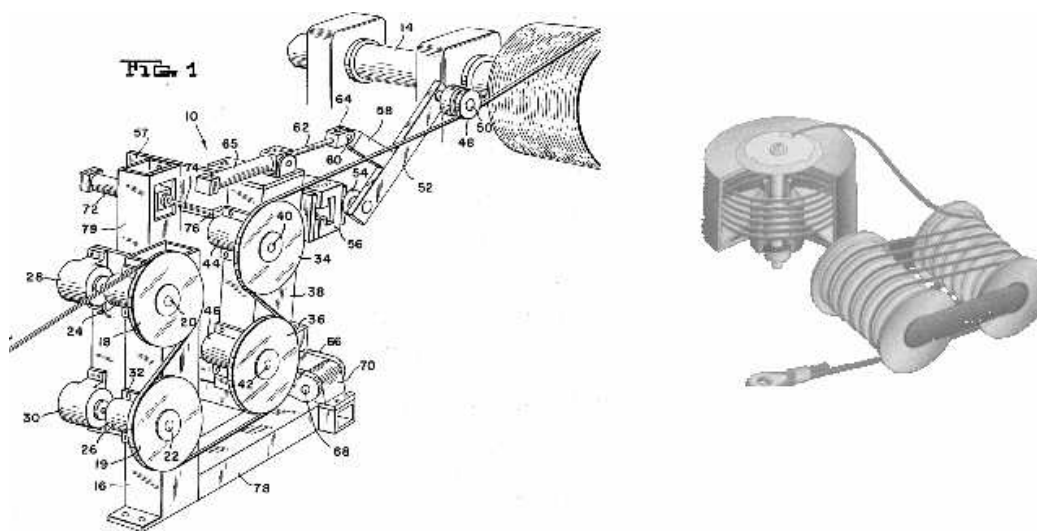
⁽⁸⁾ dostupné z <http://www.into.cz/yaskawa/vs-616_p5/vs616p5.htm>

⁽⁹⁾ dostupné z <<http://www.metzner.com/english/kunststoffbearbeitung/flat-section-seals-processing/>>

Přenos síly opásáním

Následující obr. 25 ukazuje způsob přenosu síly na drát, nebo jiné medium, pomocí zvětšeného úhlu opásání. V první případě se jedná o USA patent navíječky pásu materiálu. Pro zvětšení schopnosti zařízení přenést na médium sílu je zde využito čtyř kladek se závislým pohonem. Zařízení je rovněž schopno definovaně navíjet, protože kladky jsou umístěny na stolici pohyblivé v ose navíjené cívky.

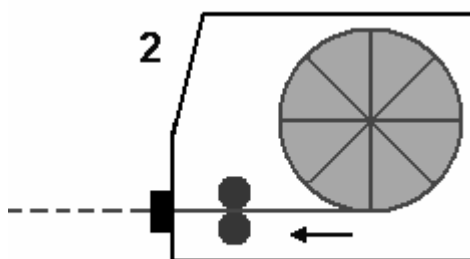
Druhý z obrázků ukazuje prostorově úspornější variantu zvětšení úhlu opásání. Díky drážkám na obou bubnech je po celou dobu chodu udržována stejná vzdálenost mezi závitů. Nedochází k pohybu vlivem navíjení nových závitů a odvíjení starých.



Obr. 25 Zařízení pro navíjení ⁽¹⁰⁾; Způsob přenosu síly na lano ⁽¹¹⁾

Silový podavač

Používá se pro podávání především svářecího drátu. Principiálně funguje na bázi tření, kdy pro přenos tečné síly musí být vyvolána značná síla normálová (to ovšem závisí na koeficientu tření, resp. materiálové dvojici). Dále pro dané zařízení existují tvarové podavače, ve kterých je síla přenášena tvarovým stykem.



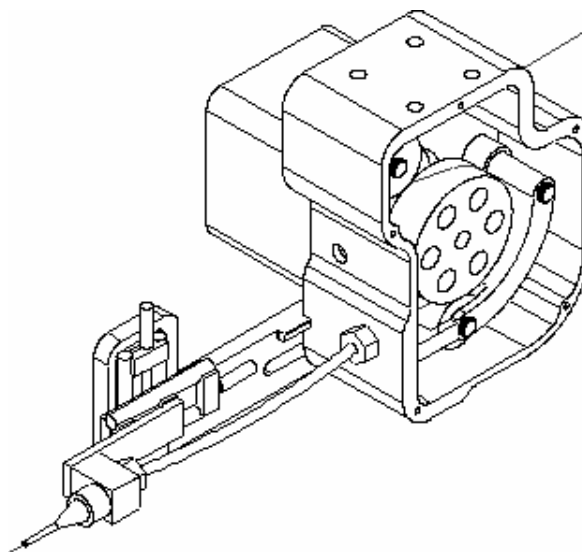
Obr. 26 „Tlačný“ podavač drátu pro svářečku ⁽¹²⁾

⁽¹⁰⁾ dostupné z <<http://www.freepatentsonline.com/4489901.pdf>>

⁽¹¹⁾ dostupné z <<http://hellgeth.com/wheeled-vehicles/various/>>

Opásaný podavač

Opásaný podavač se s výhodou používá pro pohon svařovacího drátu u svářeček CO₂. Je prostorově úsporný.



Obr. 27 „Opásaný“ podavač drátu pro svářečku ⁽¹³⁾

Brzdňý systém navíječky ADAS

Obr. 28 ukazuje mikrometrickým šroubem ovladatelnou třecí brzdu. Pozice (102) je jakousi předbrzdou. To z důvodu nutné přítomnosti minimální počáteční síly pro vznik vláknového tření, které je, pro případ této brzdy, jejím principem brzdění.



Obr. 28 Brzdňý systém navíječky ADAS ⁽¹⁴⁾

⁽¹²⁾ dostupné z <<http://svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocclanku=2008020702>>

⁽¹³⁾ dostupné z <<http://www.alspi.com/wirefeeder.htm>>

⁽¹⁴⁾ dostupné z <http://www.edunet.souepl.cz/~weisz/dilna/em_nav/adas.php>

4.3 Tření za nízkých rychlostí

Kromě vlastních řešení (předchozí text) byly zkoumány i možné problémy. Jedním z nich je tření za nízkých rychlostí a to vzhledem k rychlosti, kterou se má drát pohybovat, nebo i k otáčkám brzděné cívky.

Problematika tření za nízkých rychlostí vychází z potřeby překonat statické tření, které je větší než tření dynamické. Při nízké rychlosti je neustále překonáváno statické a chvilkově je dosaženo tření dynamického. Normálová síla působící na podložku je konstantní, ale rychlost pohybu nikoli. Dochází k „utržení“ smýkaného tělesa do pohybu a posléze k jeho zastavení. To je způsobeno pružností tělesa, která akumuluje tečnou sílu a při dostatečném nasbírání energie ji uvolní. Zmíněná energie je pro různá místa podložky přibližně stejná, závislá na koeficientu tření. Takové chování může působit vibrace a v případě shody s vlastní frekvencí by mohlo dojít k rezonanci.



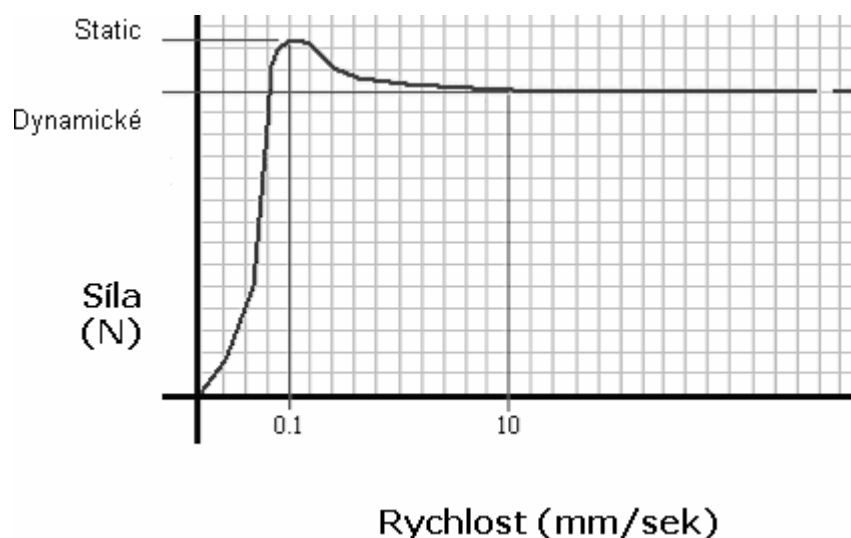
Obr. 29 Velikost třecí síly v čase [FY1 1997]

Obr. 29 zachycuje průběh velikosti třecí síly v čase. Je jasně vidět, že k rozpoohybování tělesa smykem je potřeba daleko větší síly, než-li při jeho samotném pohybu. Dále obrázek zachycuje přibližnou konstantu dynamické třecí síly potřebné k pohybu tělesa.

Pro přesnější informace ohledně průběhu děje by bylo zapotřebí experimentu. Na již existujícím nefunkčním zařízení pro převíjení drátu ve vlastnictví KST se potřebný experiment uskutečnil. Díky mechanickým rázům vzniklým nelinearitou tření (potíže při tření za nízkých rychlostí) zařízení není schopno převíjení drátu za konstantního mechanického napětí. Z experimentu vyplynulo, že je síla v drátu: Přímou úměrnou normálové síle a nepřímou úměrnou rychlosti. Celá experimentální zpráva je k dispozici na přiloženém CD.

Pro přechod mezi statickým a dynamickým třením existuje tzv. přechodová rychlost. Při jejím dosažení se plně rozvíjí dynamické tření (přibližná konstanta).

Kupříkladu pro ocel s ocelí je tato rychlost 10,16 mm/s. Při podrobnějším průzkumu bohužel rychlosti pro další třecí dvojice nebyly nalezeny.



Obr. 30 Závislost tření na rychlosti ⁽¹⁵⁾

4.4 Pohony pro nízké rychlosti

Elektromotory fungují na principu pohybu magnetického pole, které otáčí rotorem. Jejich největší problém obecně je, že nemohou přenášet statické síly (motor se spálí). Dalším podstatným problémem je tzv. krokování. K tomu dochází vlivem „přepólování“, které je nutné pro změnu magnetického pole a další pohyb. Čím více má motor pólů, tím menší krok může udělat. Nejvhodnější odstranění nedostatků je elektromotor zpřevodovat a případně opatřit brzdou.

Velice schopné pohony pro nízké rychlosti (otáčky) jsou hydromotry. Ty mají plně lineární průběh kroutícího momentu a jsou schopny velké dynamiky. Jejich konstrukce umožňuje přenos statické síly i velké přetížení při provozu. Velkou nevýhodou je technická náročnost. Motory potřebují tlakovou kapalinu (olej), generátor tlakové kapaliny poháněný elektromotorem. Pro generátor se obvykle používají elektromotory velkého výkonu. Další komplikací je nutnost vedení tlakové kapaliny v „pancéřových“ hadicích. Celková jednoduchost vlastní konstrukce motoru a jeho dobré vlastnosti jsou vykoupeny. Alternativou kapaliny pro pohon motoru může být vzduch. Pneumotory ovšem mají podobné nevýhody jako hydromotry a jejich vlastnosti jsou podstatně horší

⁽¹⁵⁾ dostupné z <http://help.solidworks.com/2011/Czech/SolidWorks/motionstudies/LegacyHelp/motion_studies/COSMOSMotion/Friction_Overview.htm>

díky stlačitelnosti vzduchu. O nasazení obou alternativ by se dalo uvažovat u návrhu zařízení do provozu s již zavedeným tlakovým médiem.

Nejlepším řešením je stále elektřina, které vyhrává nejen cenou, ekologičností, čistotou, dostupností, nízkými provozními náklady, ale i možností relativně snadné regulace pomocí frekvenčních měničů. Nevýhody jsou zcela převáženy výhodami.

4.5 Rychlopřevíjení

Rychlopřevíjení lze realizovat několika způsoby, mechanicky a elektricky (to v případě pohonu elektromotorem). Mechanická cesta znamená připojení zařízení, které zpřevoduje pohon na požadované otáčky. U tak malých otáček, které jsou požadovány zde, by řešení spočívalo naopak v odpojení převodovky. Elektricky by realizace mohla probíhat změnou počtu pólů motoru, nebo změnou vstupní frekvence a napětí pomocí frekvenčního měniče, případně jejich kombinací. Např. 2-pólové motory mají při standardně výstupní otáčky $3\,000\text{ min}^{-1}$ a 8-pólové 750 min^{-1} . Rozdíl mezi mechanickým a elektrickým postupem je značný. Na rozdíl od mechanického elektrický přináší méně nevýhod. Má nižší cenu, nesnižuje životnost, lze snadno řídit, je pružný. V nejsložitějším případě by byla kombinace mechanického a elektrického řešení. Zákazník požaduje převod mezi rychloposuvem a pracovním posuvem jen cca 167, což bude schopno zajistit pouze čistě elektrické řešení.

5 Návrh řešení pomocí metod kreativního řešení problémů

Kreativních metod se využívá pro odstranění bariér tvořivosti, setrvačnosti myšlení... existují metody pro jednotlivce i pro skupiny, nicméně nejdůležitější není to s kolika lidmi metody pracuje, ale vlastní princip překonání bariéry. Nejznámější metody jsou Brainstorming, Brainwriting, Kombinační tabulka, Modelování malými človíčky, Devět obrazů, Hledání rozporů, TRIZ... (více viz [TRIZ 1996]).

5.1 Brainstorming

Brainstorming je nejznámější metoda generování nápadů, která je ve světě nejvíce využívána. Byla vyvinuta A. Osbornem v roce 1938, který vycházel z teze, že průměrný člověk může vymyslet až dvakrát tolik nápadů, když pracuje ve skupině, než když pracuje sám. Brainstorming se stal jednou z nejznámějších a nejpoužívanějších metod a ovlivnil řadu příbuzných technik kreativního generování myšlení.

Tato technika vychází ze dvou základních principů. Prvním principem je dodatečné posouzení nápadů. Dodatečné posouzení nápadů umožňuje soustředit se na tvořivé myšlení při generování nápadů a potlačit při tomto procesu hodnocení. Nápady jsou posuzovány později až po vygenerování všech nápadů. Druhým principem je zásada, že kvantita plodí kvalitu. To znamená, čím více je vygenerováno nápadů, tím je větší možnost nalezení vhodného řešení. Při vedení brainstormingových sezení se aplikují čtyři základní pravidla:

- *Kritika je vyloučen*
- *Volné sociace jsou vítány*
- *Kvalita je žádoucí*
- *Kombinace a zlepšení návrhů jsou žádoucí*

[RIP 2002]

Zde se nebude jednat o klasický brainstorming jak je popsán výše. To z toho důvodu, že se jedná o DP a tudíž by využití týmové práce mohlo být považováno za plagiátorství. Nicméně bude využito jeho dvou základních principů odloženého hodnocení a principu, že kvantita produkuje kvalitu. Relevantní výsledky „nápadů“ budou dále použity v kombinační tabulce. Následuje ukázka brainstormingů.

5.1.1 Jaké způsoby lze využít pro napínání drátu?

- Energetický most (na jedné straně je energie udílána a na druhé spotřebována)
 - Brzdění odvíjecí cívky a pohon navíjecí
 - Pohon navíjecí cívky brzdění drátu
- Napěťový most (bez brzdy, na základě propojení odvíjecího a navíjecího konce)
 - Spojení navíjecí a odvíjecí cívky pevným tělesem
 - Ozubený řemen
 - Tyč
 - Řetěz
 - Drát přenese napětí sám

Drát přenese napětí sám

Toto řešení bylo nalezeno pomocí hledání ideálního, kterým pro tento případ je, že se drát napne sám. Jedná se tedy o spojení navíjecí a odvíjecí cívky stejnou osou a zatížení drátu další silou, ta vyvolá napětí. Problémem řešení je protažení drátu pod zatížením, to lze řešit spojením cívek variabilním převodem proměnného převodového poměru.

5.1.2 Jak způsoby lze využít pro brzdění? Jak lze na drát přenést sílu?

- Brzdění přímo na drátu
 - Smýkání drátu o pevné těleso
 - Tření o rovnou plochu
 - Tření válcovou plochu
 - Smýkání drátu o kapalné těleso
 - Tření o hladinu
 - Tvarový přenos
- Brzdění odvíjecí cívky
 - Dle druhu brzdy
 - ...
- Brzdění za odvíjecí cívku s přibrzděním bez smýkání drátu
 - Úhlem opásání
 - Několik závitů drátu na jedné kladce

- Několik kladek
 - Silovým stykem
 - Tvarovým stykem

5.1.3 Jak lze drát definovaně navíjet?

- Volně, vyžaduje neustálé napětí
- Pomocí mechanismu
 - Pohybem drátu
 - Pohybem navíjecí cívky

Mechanismy pro definované navíjení

- Pohybový šroub
- Vačkový
- Klikový
- ...

5.1.4 Jak odstranit problémy tření spojené s nízkou rychlostí?

- Relativizace pohybu
 - Zvětšení otáček
 - Zvětšení průměru
- Absorpce energie
 - Tlumič
 - Setrvačník

5.2 Kombinační tabulka

Pro svou velikost bude součástí přílohy 6: Kombinační tabulka dílčích řešení. V kombinační tabulce jsou zapsány řešení jednotlivých funkcí dekomponovaného výrobku. Technické detaily jsou zatím hrubé. Zpřesnění proběhne až po výběru schématu řešení v konstrukční části práce. Z pochopitelných důvodů je v tabulce ukázáno pouze sestavení vítězné varianty.

5.3 Vybrané varianty řešení

Volba jednotlivých řešení musí být tvořena uvážlivě tak, aby nedošlo k zásadním funkční nebo principiálním chybám. Např.: Samosvorná šneková převodovka do rychla použít opravdu nelze (slepé pospojování). U každého voleného členu sché-

matu by měly být brány v ohled jeho výhody a nevýhody, fyzikální a konstrukční vlastnosti a další omezení jeho použití. Zároveň při sestavování řešení musí být dbáno na dodržování zákaznických požadavků. Nakolik se je podařilo naplnit rozhodne výběr řešení v následující kapitole.

Pro zachování objektivního přístupu i v dalším postupu řešení bude k označení jednotlivých variant použito velkých písmen abecedy. Většina návrhů by se měla ubírat směrem mechaniky, to z důvodu zaměření studia autora práce. Pro vítězné řešení budou navrženy alternativy v podobě přesunu od mechanického pole k pokročilejším (MATCHEM [TRIZ 1996]). Ty nebudou dále řešeny, ale budou sloužit jako inspirace čtenáři řešícího podobné inovační zadání.

5.3.1 Definování symboliky pro schémata

Schémata neřeší směrové vedení pracovní oblasti, měření ... (to je považováno za nutnost), ale soustředí se především na funkce způsobující vznik napětí, definované navinutí a pohyb drátu.

OC ...odvíjecí cívka

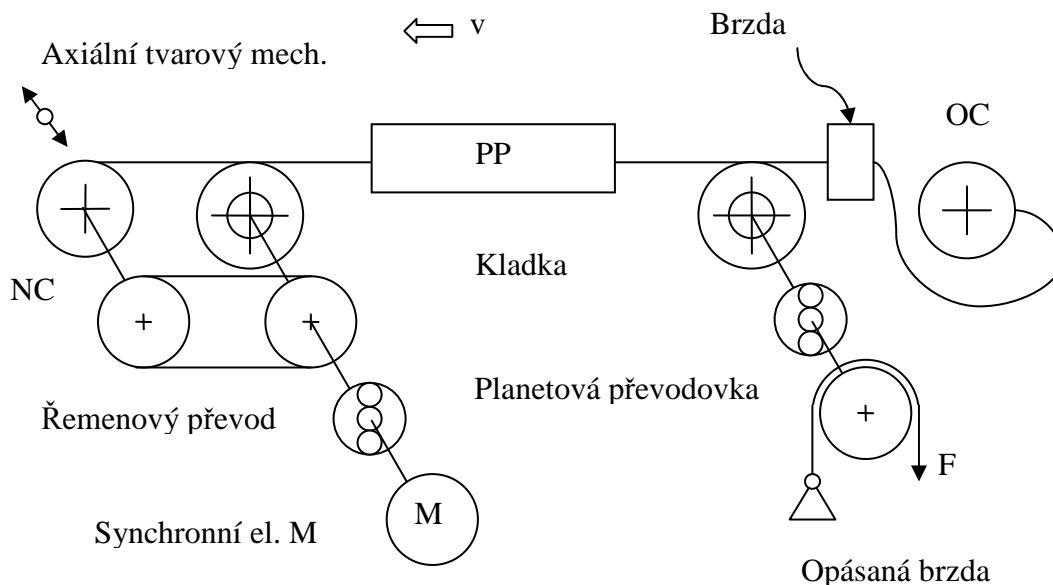
PP ...pracovní prostor

NC ...navíjecí cívka

5.3.2 A

Popis:

Z volné odvíjecí cívky je drát naveden do třetí brzdy, kde vzniká minimální síla pro přenos síly opásáním. Drát pokračuje několika závity na kladce. Vzniká hlavní přenos síly. Kladka je napojena na opásanou brzdu, místo určení velikosti brzdné síly. Aby nedocházelo k pulzům brzdné síly, je kladka přenosu síly spojena s brzdou planetovou převodovkou (zrychlení pohybu). Drát po získání potřebného napětí pokračuje do pracovního prostoru (skrže směrové vedení), z kterého je vyveden několika závity na druhé kladce přenosu síly. Ta je poháněna synchronním elektromotorem s planetovou převodovkou. Z hnací hřídele je řemenovým převodem poháněna navíjecí cívka a mechanismus definovaného navíjení. Definované navíjení vytváří lineární vratný pohyb navíjecí cívky určený axiálně tvarovaným válcem po němž se pohybuje dotyk navíjecí cívky.



Obr. 31 Schéma konceptu A

Funkční seznam:

Napětí: opásaná brzda s planetovou převodovkou a pohon

Pohon: synchronní elektromotor s planetovou převodovkou

Definované navíjení: axiálně tvarovaný buben

Přenos síly: několik závitů na jedné kladce

Výhody a nevýhody:

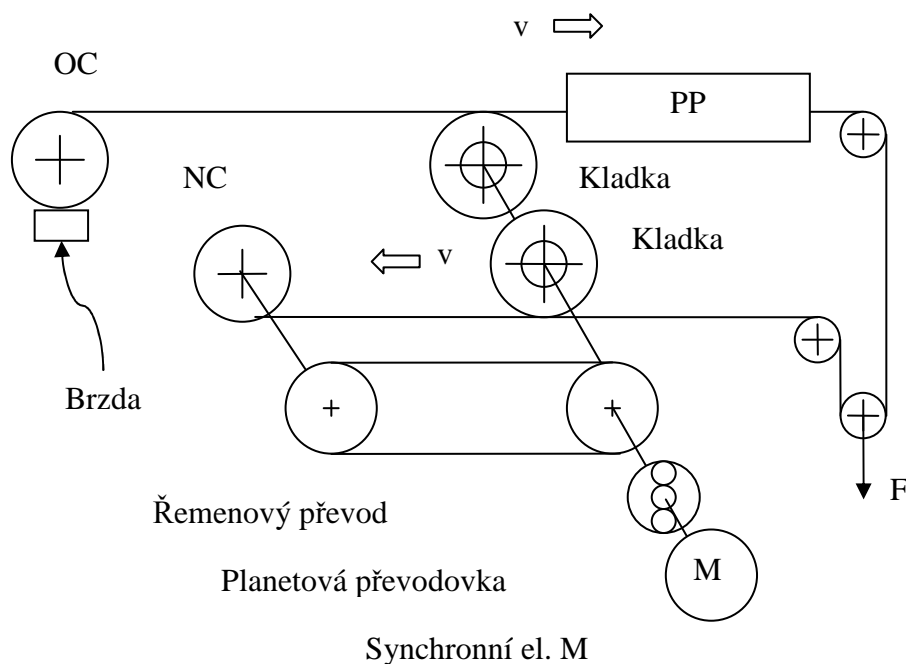
- ✓ jednoduchost brzdného mechanismu
- ✓ kvalita napětí
- ✓ kvalita navíjení
- ✗ komplikované zavedení drátu (několik závitů drátu na jedné cívce, hrozí zamotání)
- ✗ složitost

5.3.3 B

Popis:

Drát je navíjen z volné odvíjecí cívky na opásanou kladku, kde díky přítlačné síle řemene není potřeba více závitů. Jeden ze členů opásané kladky je brzděn magnetickou práškovou brzdou vhodnou pro nízké rychlosti (otáčky). Na opačném konci pracovního prostoru se nachází opásaná kladka poháněná synchronním elektromotorem se samosvornou šnekovou převodovkou. Dále drát prochází mechanismem definovaného navíje-

žené silou. Aby bylo toto zařízení schopno vyvolat napětí, jsou kladky přenosu síly umístěny na stejné hřídeli. Drát z druhé kladky přenosu síly pokračuje k navíjecí cívce. Navíjecí cívka je spojena s pohonem řemenovým převodem. Pohon je umístěn na hřídeli spojení kladek silového přenosu. Je složen z planetové převodovky a synchronního elektromotoru.



Obr. 33 Schéma konceptu C

Funkční seznam:

Napětí: volně se otáčející kladka zatížená silou

Pohon: planetová převodovka a synchronní motor

Definované navíjení: přirozené

Přenos síly: několik závitů na jedné kladce

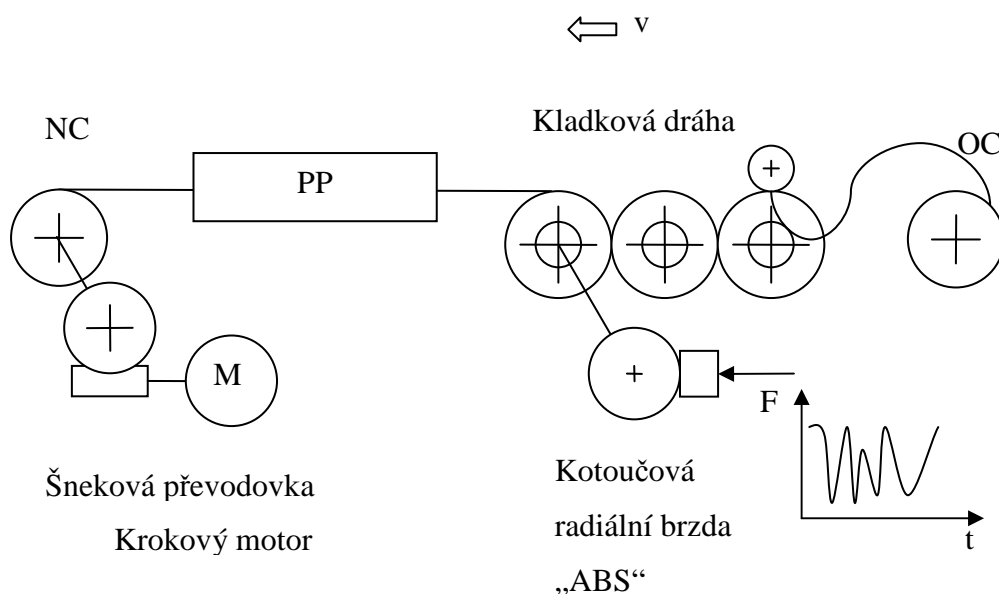
Výhody a nevýhody:

- ✓ nezávislost na tření
- ✗ vlivem deformace drátu dochází k neustálému natahování, nutnost seřizování (pro lze vyřešit proměnným převodem mezi hřídelemi; variátor redukcující prodloužení drátu)
- ✗ více kladek znamená delší čas zavedení drátu, snížení životnosti a zvýšení ceny
- ✗ nemá definované navíjení

5.3.5 D

Popis:

Drát je odvíjen z volné cívky do kladkové dráhy vybavené převodem zajišťujícím její rovnoměrné otáčení. Jako brzdy je použito elektronicky řízené radiální třecí brzdy. Z kladkové dráhy drát pokračuje skrze pracovní prostor přímo na navíjecí cívku poháněnou krokovým motorem se šnekovou převodovkou.



Obr. 34 Schéma konceptu D

Funkční seznam:

Napětí: elektronicky řízená radiální kotoučová brzda a pohon

Pohon: krokový motor se šnekovou převodovkou

Definované navíjení: přirozené

Přenos síly: kladková dráha, závity navíjecí cívky

Výhody a nevýhody:

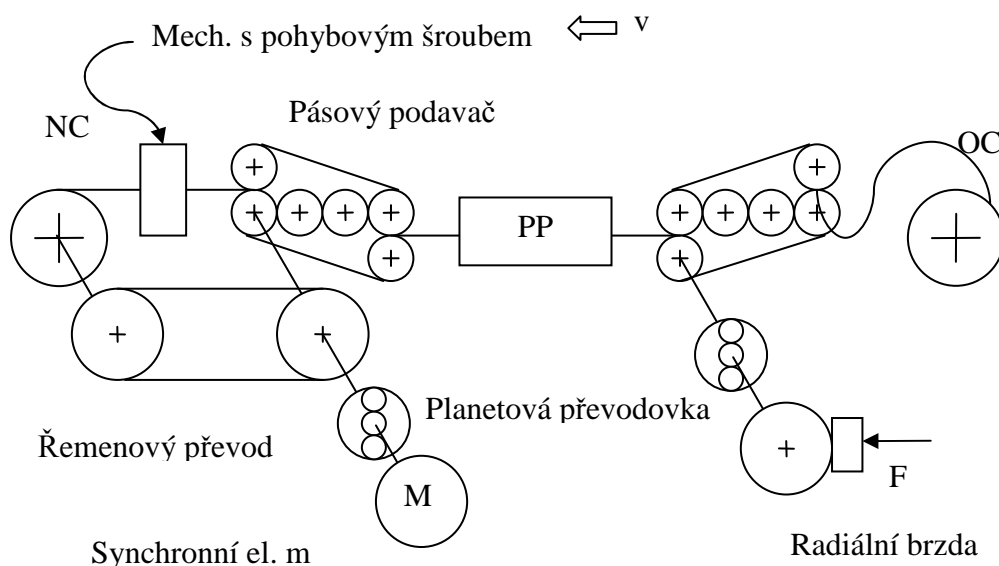
- ✓ jednoduchost brzdy
- ✗ složitost kladkové dráhy

5.3.6 E

Popis:

Drát z volné odvíjecí cívky vstupuje do brzděného podavače radiální třecí brzdou s planetovou převodovkou. Dále za pracovním prostorem do poháněného podavače planetovou převodovkou a synchronním elektromotorem. Za poháněným podavačem je

umístěn mechanismus definovaného navíjení zprostředkovaný pohybovým šroubem s krokovým motorem. Pohon navíjecí cívky obstarává řemenový převod.



Obr. 35 Schéma konceptu E

Funkční seznam:

Napětí: radiální třecí brzda s planetovou převodovkou a pohon

Pohon: synchronním motorem s planetovou převodovkou

Definované navíjení: pohybový šroub s krokovým motorem

Přenos síly: pásový podavač

Výhody a nevýhody:

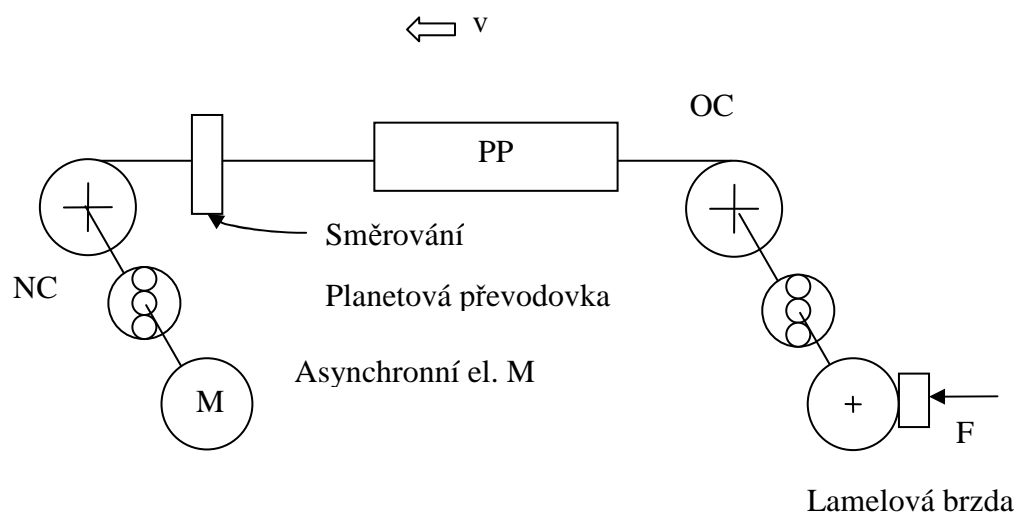
- ✓ jednoduché zavedení drátu do podavače
- ✓ vysoká kvalitní definované navíjení
- ✓ vysoká kvalita průběhu napětí
- ✗ celková složitost
- ✗ nízká životnost

5.3.7 F

Popis:

Drát z odvíjecí cívky, která je brzděná prostřednictvím lamelové třecí brzdy s planetovou převodovkou, vstupuje do pracovního prostoru. Pro přenos síly je využito již existujících závitů na cívce. Před a za pracovním prostorem je umístěno směrové vedení (nelze počítat s jiným členem technologického celku pro vedení). Ze směrového

vedení drát vstupuje přímo na navíjecí cívku, která je poháněna asynchronním elektromotorem s planetovou převodovkou. Definované navíjení je zajištěno přirozeně.



Obr. 36 Schéma konceptu F

Funkční seznam:

Napětí: radiální brzda a pohon

Pohon: synchronní elektromotor a planetovou převodovkou

Definované navíjení: přirozené

Přenos síly: závity na cívce

Výhody a nevýhody:

- ✓ Jednoduchost
- ✗ drát na odvíjecí cívce musí být navinut tak, aby nedošlo k zařezání, nebo musí být síla přenášena jinak

6 Výběr a ověření návrhů řešení

6.1 Rozhodovací tabulky

Pro rozhodování bude použito dvou stupňů. Prvním bude „hrubé“ a druhým „detailní“ rozhodování, jak ho předkládá Mašín se Ševčíkem [MII 2006] na str. 80. Hlavní faktorem správného rozhodování je kvalitní výběr hodnotících kritérií a jejich správné posouzení. Kritéria rozhodování by měla být zaměřena na zákaznické požadavky, budou z nich tedy vycházet. Pro oba stupně výběru bude použito stejných kritérií, rozdíl však bude ve způsobu hodnocení. V detailním rozhodování bude zohledněna i důležitost jednotlivých kritérií pro zákazníka, v hrubém nikoli.

Vybraná kritéria pro rozhodování:

- Kvalita navíjení
- Stálost napětí
- Obtížnost regulace napětí
- Schopnost udržet drát napjatý za klidu
- Možnost rychloposuvu
- Rychlost zavedení drátu do zařízení
- Komfort zavedení drátu do zařízení
- Kompaktnost (počet motorů, převodovek a mechanismů)
- Cena
- Náklady na provoz
- Životnost

Kvalita navíjení je dána především umístěním pomocného mechanismu navíjení. Přirozené navíjení nemusí utvářet definovanou šroubovici, může způsobovat přeskokování drátu, nebo dokonce jeho zamotání. Zamotání ovšem nehrozí, je-li navíjený drát pod neustálým napětím. Naproti tomu je nutno říci, že vřazením mechanismu se značně zvyšuje složitost. Kvalita navíjené šroubovice je dána přesností navíjení. Navíjet lze šroubovice se závitů těsně vedle sebe, nebo křížovým způsobem (jednotlivé závitů se kříží). K tomu dochází když stoupání šroubovice vytvářené mechanismem je větší, než průměr navíjeného vlákna. První jmenovaný způsob (drát vedle drátu) umožňuje velké zaplnění cívky navinutým drátem, je tedy nejkvalitnější.

Stálost napětí je ovlivněna několika členy zařízení. Jak již bylo řečeno může být ovlivněna způsobem definovaného navíjení. Určitě je ovlivněna částí způsobující napětí. Ve většině navrhovaných variant tedy brzdou a pohonem. V případě pohonu se jedná o přenos napěťové nestejnosti vycházející z principu motoru, kde většina motorů není samo o sobě schopna při pomalých otáčkách produkovat signál konstantního točivého momentu. Tento jejich nedostatek lze odstranit vhodným zpřevodováním (tak tomu u všech schémat je). Další rázy mohou způsobovat vůle v mechanismu převodu. Mechanické brzdy povětšinou vycházejí z principu tření, které není ve svém průběhu při pohybu nízkou rychlostí konstantní. Navíc jedná-li se o nízké rychlosti, brzda má tendenci akumulovat napětí a náhle ho uvolnit pro překonání hranice pohybu a klidu. Elektromagnetické brzdy se potýkají s obdobným principiálním problémem jako motory (pólové/silové segmenty). Dalším potenciálním členem způsobující nestejnost napětí může být člen přenosu síly na drát. Z užitých členů pro přenos síly se jedná především o kladku opatřenou několika závitů drátu, jehož závity se po kladce pohybují až dojdou konce, po té se začínají smýkat. Ostatní členy přenosu síly s nutným posuvem drátu po cívce nepracují.

Obtížnost regulace napětí má úzkou vazbu na již zmiňované tření. Toto kritérium hodnotí především fyzikální schopnost brzdy rychle reagovat na nějaký pokyn obsluhy. Nutno podotknout, že nezohledňuje celkovou automatizaci schématu (myšleno např.: elektrické zařízení se lépe ovládá). Ta bude případně součástí až dalšího postupu.

Kritérium udržení napětí za klidu stroje lze chápat ze dvou hledisek. Prvním je úplný klid stroje, stroj je vypnutý. Druhým pohledem je tzv. Stand by režim, kdy je zařízení schopno okamžitě reagovat na pokyny. Kritérium se zaměří na druhý pohled. Schopnost zařízení ovlivňují především prvky umožňující trvalejší statické zatížení.

Možnost rychloposuvu souvisí s použitým pohonem a reakčními schopnostmi brzdy. Kritérium rychlosti zavedení drátu a jeho komfort ovlivňují části zařízení pro přenos síly. Kompaktnost bude hodnocena na základě předpokládaného zástavbového prostoru, počtu členů schématu, počtu motorů a ...

Hledisko ceny bude hodnoceno na základě odborného odhadu autora, který již v rámci projektu získal „zkušenosti“ při předchozí tvorbě. Náklady na provoz souvisí hlavně s využíváním zdrojů. Jinak řečeno: Čím více motorů v zařízení, tím větší náklady na provoz. Tato teze však může být zavádějící, což je třeba mít na mysli při vyhodnocování. Zařízení totiž nemusí daný motor plně vytěžovat po celou dobu běhu.

Životnost ovlivňuje především použití brzdy. V případě mechanických brzd, fungující na bázi tření je životnost nižší než-li životnost brzd fungující čistě na magnetickém principu. Dále je životnost ovlivněna počtem pohybujících se částí (ložiska, motor, ...)

6.1.1 Hrubé rozhodování

Plnění jednotlivých kritérií bude hodnoceno pěti stupni: -- absolutně nevyhovuje, - nevyhovuje, 0 plnění je neutrální, + vyhovuje, ++ nejlepší naplnění. Hodnocení v následující tabulce určí pořadí řešení. Dvě nejlepší řešení postoupí do detailního rozhodování.

Tab. 5 Hrubé rozhodování

Kritérium\varianta	A	B	C	D	E	F
Kvalita navíjení	+	+	-	-	++	-
Stálost napětí	+	+	++	-	+	+
Regulace napětí	+	+	-	0	+	+
Schopnost udržet drát napjatý za klidu	0	+	++	+	0	0
Možnost rychloposuvu	+	-	+	-	+	+
Rychlost zavedení drátu	-	-	+	+	+	+
Komfort zavedení drátu	--	+	--	0	++	+
Kompaktnost	-	-	--	+	--	+
Cena	-	-	++	-	-	0
Náklady na provoz	+	-	++	-	-	+
Životnost	-	--	+	--	-	0
$\Sigma -$	6	7	6	7	5	1
$\Sigma 0$	0	0	0	2	1	3
$\Sigma +$	5	5	11	3	9	7
Σ celkem	-1	-2	5	-4	4	6
Pořadí	4.	5.	2.	6.	3.	1.

6.1.2 Detailní rozhodování

V tomto rozhodování bude každému kritériu přiřazena váha podle důležitosti pro zákazníka. U každé varianty bude konkrétní kritérium oceněno číslem od 1 do 5, kde 5 znamená nejlepší výsledek. Toto číslo se následně vynásobí váhou kritéria, čímž vznikne vážená hodnota. Vážené hodnoty se sečtou a vyhraje varianta s lepším výsledkem,

tedy s větším číslem. Celková rozdělená váha má hodnotu 1 (100 %), jednotlivá kritéria budou mít část této hodnoty (dle jejich významnosti). Součet vážených hodnot varianty tedy nemůže být větší než 5,00, to pro kontrolu.

Tab. 6 Seřazená kritéria

Kritérium	Bodové hodnocení zákazníkem	Procentuální přepočet po korekci [%]
Zachování stálého napětí	100	15,4
Životnost	100	15,4
Komfort zavedení drátu	90	13,8
Rychlost zavedení drátu	90	13,8
Kompaktnost	60	9,2
Regulace napětí	10 + 40	7,7
Možnost rychloposuvu	50	7,7
Cena	50	7,7
Náklady na provoz	40	6,2
Schopnost udržet napjatý drát za klidu	10	1,5
Kvalita navíjení	10	1,5

Pro zpřesnění bylo provedeno dodatečné dotazníkové šetření na téma hodnocení vybraných kritérií pro rozhodování (tab. 6). Výsledky je nutno poupravit. Například nízká hodnota pro regulaci napětí je naprosto milná. Zákazník si neuvědomuje nutnost této vlastnosti pro vyvíjený produkt, proto je k jeho bodům přičtena korekce.

Tab. 7 Detailní rozhodování

Kritérium\varianta	Váha [-]	C		F	
		Hodnota	Vážená hodnota	Hodnota	Vážená hodnota
Kvalita navíjení	0,015	1	0,015	1	0,015
Stálost napětí	0,154	5	0,77	4	0,616
Regulace napětí	0,077	1	0,077	4	0,308
Schopnost udržet drát napjatý za klidu	0,015	5	0,075	1	0,015
Možnost rychloposuvu	0,077	3	0,231	3	0,231
Rychlost zavedení drátu	0,138	3	0,414	4	0,552
Komfort zavedení drátu	0,138	2	0,276	4	0,552
Kompaktnost	0,092	2	0,184	3	0,276
Cena	0,077	4	0,308	2	0,154
Náklady na provoz	0,062	5	0,31	4	0,248
Životnost	0,154	4	0,616	3	0,462
Σ vážených hodnot (Σ vah 1)		2,042		2,565	
Pořadí		2.		1.	

V detailním hodnocení (tab. 7) se stala vítěznou varianta F. Ta bude pokračovat dále v postupu vývoje.

6.1.3 Alternativy vítězného řešení

Vybraný postup brzdění vítězného schématu spočívá v relativizaci mechanického pole. Vychází z předpokladu, že tření je závislé na rychlosti, s nárůstem rychlosti dochází k linearizaci jeho průběhu. Na základě tohoto tvrzení byla brzdná rychlost zvýšena převodovkou. To přináší další klad v podobě snížení potřebné brzdné síly (normálové síly vyvolávající tečnou). Při snížení normálové síly dochází zároveň ke snížení vznikajících rázů. Tato tvrzení potvrdil provedený experimentem.

Relativizací je řešeno i odstranění nevýhody elektromotoru pohonu. Vítězné schéma pomocí převodu v vysokém převodovém čísle odstraňuje nevýhody elektromotoru v podobě „přepólování“, přeskokování při malých rychlostech.

Dalším způsobem brzdění by mohla být jakási hydraulická spojka. Na jedné straně by byla poháněna motorem a na druhé by způsobovala brzdný účinek na hřídeli

s odvíjecí cívkou. Velikost brzdné síly by pak závisela na velikosti mezery mezi lopatkami rotoru a otáčkách motoru. Takové řešení by snížilo kompaktnost, zvýšilo cenu a provozní náklady ... a svou podstatou je vhodné pro řešení na Katedru energetických zařízení FS, kde se zabývají dynamickými jevy tekutin.

Dalším možný přístupem je posun mechanického pole na magnetické. Brzdění by zajišťovala magnetická brzda s elektrickým řízením (dva kotouče s magnety proti sobě). Zde jsou dvě skutečně zajímavé alternativy relativizace pohybu za účelem odstranění rázů vzniklých krokováním. První je roztočení statoru a druhou je roztočení magnetického pole. Takové řešení přináší řadu výhod, schopnost udržet statické napětí, neomezenou životnost („nic“ se netře), možnost velmi přesného elektrického řízení ..., ale i nevýhod jako jsou, vysoké provozní náklady, vysoká pořizovací cena, složitost zařízení na funkční úrovni.

Řešením pro pohon by se mohl stát speciální dvourotorový elektromotor. Řešení by spočívalo ve dvou proti sobě se otáčejících rotorech elektromotoru. Výsledné otáčky by byly dány rozdílem otáček rotorů. Motor takové konstrukce by byl schopen dlouhodobě udržet statické namáhání, protože by se i při nulových výstupních otáčkách neustále otáčel. Do jisté míry by se dal využít i jako brzda. Hlavní problémy tohoto návrhu jsou rozlišovací schopnost nastavení otáček, synchronizace řízení obou rotorů a vysoká složitost na úrovni řešení funkcí. Toto řešení je svou povahou vhodné pro Fakultu mechatroniky.

6.2 Interview, ověření dosavadních výsledků

V tomto kroku bude vítězný návrh komunikován s vedoucím práce, aby bylo získáno širší shody.

Otázka: „*Je dosavadní postup v souladu s metodami inovačního inženýrství?*“

Odpověď: „*Ano.*“

Otázka: „*Je počet navržených variant řešení dostatečný a jsou tato navrhovaná řešení kvalitní?*“

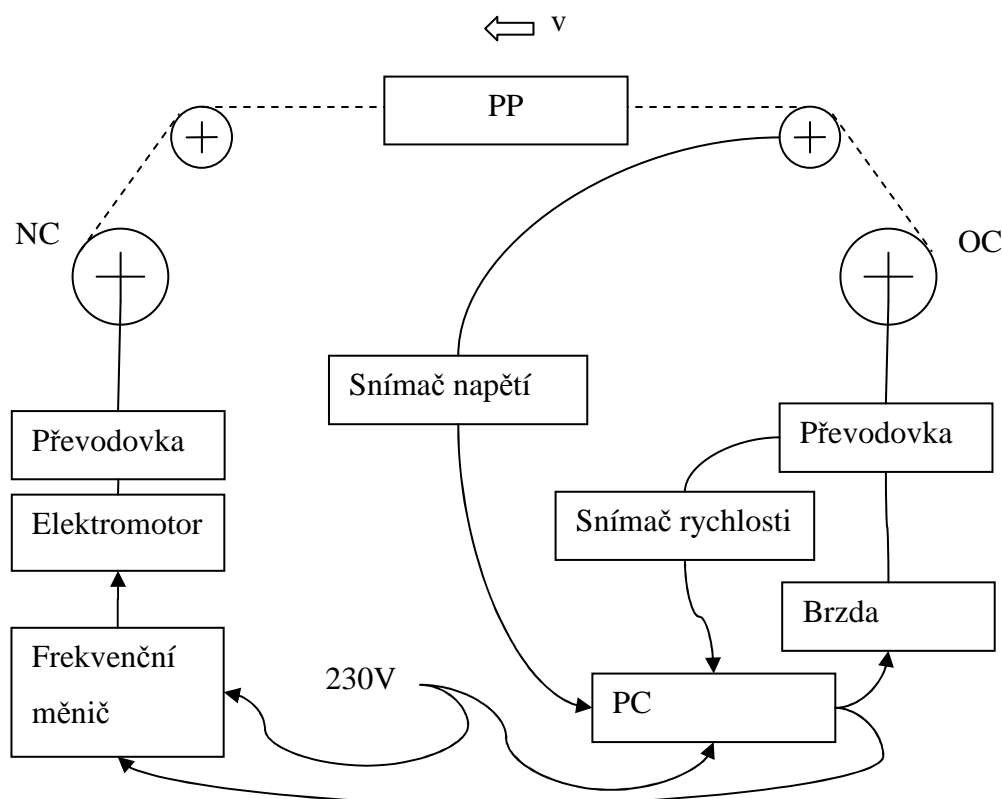
Odpověď: „*Ano.*“

Otázka: „*Je výběr řešení proveden správně?*“

...

7 Vytvoření technické dokumentace

Vítězem detailního rozhodování se stalo schéma F (obr. 38). Ze schématu je vidět, že obsahuje velké množství částí, které se nakupují. Jedná se zejména o převodovky, které lze zakoupit zvlášť nebo v kombinaci s vhodným elektromotorem. Trh poskytuje velké množství rozmanitých převodovek, takže až na speciální případy není potřeba navrhovat vlastní.



Obr. 37 Funkční schéma konečného řešení

Základní požadavky na konstrukci:

- Celek bude umístěn na rámu tak, aby byl zachován pracovní prostor.
- Budou zachovány funkce a jejich řešení vyplývající z vítězného schématu
- Budou doplněny funkce jimiž se předchozí výběr nezabýval (měření napětí, rychlosti, ...)

7.1 Parametry zařízení

Pro správné řešení je potřeba znát základní parametry dílčích komponent, které poslouží pro případný výběr při nákupu nebo k dalšímu výpočtu.

7.1.1 Obecné parametry

Teplota prostředí, vlhkost, tlak...	standardní
Nebezpečnost	nevýbušné
Agresivita	neagresivní
(případné zasažení roztokem je uvažováno pouze pro drát a NC)	
Zdroje napájení	230 V
Životnost zařízení	min. 4 000 h
Poloměr NC	30 až 35 mm
Poloměr OC	35 až 45 mm
Maximální tahová síla v drátu	100 N
Rychlost převíjení drátu	$4/3 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$
Rychlost při rychloposuvu	$0, 16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

7.1.2 Parametry pohonu

Pracovní otáčky výstupu	$0, 35 \text{ až } 0, 45 \text{ min}^{-1}$
Otáčky rychloposuvu	$\sim 50 \text{ min}^{-1}$
Výkon	0, 133 W
Kroutící moment výstupu	3, 5 N·m
Typ převodovky	přesná
Výstupní hřídel	několika stupňová planetová
	v ose motoru
	s drážkou pro pero
	průměru 25 mm
Kotvení	patkové
Řízení otáček	frekvenčním měničem
Způsob docílení rychloposuvu	elektrické řízení
Doplňková výbava motoru	nucené chlazení
	teplotní ochrana vinutí

Pozn.: V dalších výpočtech se předpokládá, že pohon dosáhne plné rychlosti pro rychloposuv. Dále je předpoklad použití přesné převodovky, která nebude způsobovat rázy při nízkých otáčkách.

7.1.3 Parametry „brzdy“

Proto, aby se nemusela brzdná síla neustále přizpůsobovat měnícímu se poloměru, bude zařízení osazeno kladkou přenosu síly (několik závitů na jedné kladce). Odvíjecí cívka bude umístěna „volně“ na stejné hřídeli jako kladka přenosu síly.

Poloměr kladky přenosu síly 25 mm

Pracovní otáčky kladky přenosu síly n_{kps} lze vypočítat pomocí vzorce (3.1) dosazením hodnot:

$$n_{kps} = \frac{v_p}{2 \cdot \pi \cdot r_{kps}} = \frac{0,0013}{2 \cdot \pi \cdot 0,025} = 8,488 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1} \approx 0,509 \text{ min}^{-1}, \quad (7.1)$$

kde r_{kps} je poloměr kladky přenosu síly.

Otáčky kladky přenosu síly při rychloposuvu n_{kpsr} jsou

$$n_{kpsr} = \frac{v_r}{2 \cdot \pi \cdot r_{kps}} = \frac{0,16}{2 \cdot \pi \cdot 0,025} = 1,019 \text{ s}^{-1} \approx 61,115 \text{ min}^{-1}. \quad (7.2)$$

Síla na drát max. 100 N

Vstupní otáčky (na drát) 0,51 až 61 min⁻¹

Způsob regulace síly elektromagnetická

Požadovaná výstupní rychlost na brzdě 15 mm·s⁻¹

Střední poloměr brzdného kotouče 35 mm

Výstupní pracovní otáčky na brzdu n_{bp} při známém poloměru brzdy r_b a rychlosti v_{bp} jsou

$$n_{bp} = \frac{v_{bp}}{2 \cdot \pi \cdot r_b} = \frac{0,015}{2 \cdot \pi \cdot 0,035} = 0,068 \text{ s}^{-1} \approx 4,093 \text{ min}^{-1}. \quad (7.3)$$

Ze vstupních otáček n_{kpsr} a výstupních otáček n_{bp} lze vypočítat požadovaný převodový poměr i_b (vstup/výstupu viz [ČS1 2005] str. 54):

$$i_b = \frac{n_{kpsr}}{n_{bp}} = \frac{0,509}{4,093} = 0,124, \quad (7.4)$$

potom otáčky při rychloposuvu na brzdě n_{br} budou

$$i_b = \frac{n_{kpsr}}{n_{br}} \Rightarrow n_{br} = \frac{n_{kpsr}}{i_b} = \frac{61,115}{0,124} = 491,107 \text{ min}^{-1}. \quad (7.5)$$

Výstupní otáčky 4,09 až 491 min⁻¹

Moment brzdy M_{bp} při pracovních otáčkách n_{bp} lze vypočítat ze vstupního výkonu P a účinností η převodu takto:

$$M_{bp} = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot n_{bp} \cdot \eta} = \frac{0,133}{2 \cdot \pi \cdot 0,068 \cdot 0,95} = 0,327 \text{ N} \cdot \text{m} . \quad (7.6)$$

Brzdňý moment $\sim 0,5 \text{ N} \cdot \text{m}$

Brzdňý moment při rychloposuvu bude přibližně 120krát nižší.

Pro vyvolání takového brzdňého momentu M_{bp} na poloměru brzdy r_b je zapotřebí normálové síly F_{bn} , kterou lze vypočítat

$$F_{bn} = \frac{M_{bp}}{r_b \cdot f_d} = \frac{0,327}{0,035 \cdot 0,1} = 93,567 \text{ N} , \quad (7.7)$$

to ovšem za předpokladu tření pro ocel-ocel s koeficientem dynamického tření f_d 0,1.

Normálová síla $\sim 100 \text{ N}$

Při rychloposuvu zařízení se potřebný brzdňý moment a sním „ruku v ruce“ brzdňá síla rapidně sníží, jak naznačuje poměr otáček přibližně 120krát. Proto je nutné při volbě rychloposuvu odlehčení brzdy a pomalý náběh do rychlosti. To také z důvodu, že při vyšších zrychleních se začínají projevovat dynamické účinky rotujících hmot.

7.1.4 Parametry snímačů

Snímání síly bude mít 3kladkovou konstrukci odstraňující rušivé vlivy. Ta způsobuje zdvojnásobení výsledné síly působící na měřící tělísko.

Rozsah snímané síly $\text{max. } 200 \text{ N}$

Přesnost měření síly $0,5 \text{ N}$

Snímání otáček bude zprostředkováno snímačem „mezer“ na otáčejícím se kole umístěným za brzdou. Z otáček bude vypočtena rychlost drátu.

Rozsah snímaných otáček $0 \text{ až } 20 \text{ kHz}$

Dalším možným způsobem snímání síly a rychlosti je snímání veličin motoru (proud, napětí).

7.2 Hrubý návrh konstrukce

Zařízení se montuje na stůl dle technologického celku, proto rám dále nebude řešen. Pro konstrukci byly vybrány nakupované komponenty a jejich dodavatelé viz níže.

Rozměry komponent byly odečteny z katalogových listů. Pro jejich objednání poslouží výše uvedené parametry.

7.2.1 Výběr nakupovaných komponent a dodavatelů

Pohon (elektromotor, převodovka, frekvenční měnič):

Kvetlo, s. r. o. (<http://www.elektromotory.cz/>)

Třífázový 8 pólový motor ($3\,000\text{ ot}\cdot\text{s}^{-1}$ při 200 Hz; 0,09 kW; 1,4 N·m; 6,3 kg)

Frekvenční měnič Siemens G120

Převodovka ($i \sim 100$)

Brzda (brzda a převodovka):

PSP Pohony, a. s. (<http://www.pohony.cz/cze/index.php>)

Brzda spínaná pružinami rozepínaná elektromagnetem (jmenovitý moment 1 N·m)

Převodovka (převod $i \sim 9$)

Snímač napětí, otáček:

Hottinger Baldwin messtechnik (<http://www.hbm.cz/>)

Měřicí tělísko (tvar Z; maximální síla 200 N)

Omegaeng (<http://www.omegaeng.cz/>)

Snímač otáček SPR101

Kladky s ložisky:

MIDOL, s. r. o. (www.midol.cz)

Kladka s čepem (závit na čepu M10; únosnost v ohybu na polovině 1990 N)

Kladka

Magnety:

Magnesy, s. r. o. <http://www.magsy.cz/page/100.magnety/>

Magnet neodymový (Ø25x5, síla potřebná k odtržení 80 N)

Spojovací materiál:

AKROS, s. r. o. (<http://www.akros.cz/>)

Šroub stavěcí s drážkou a čípkem DIN 417/A1 (M6x10)

Matice šestihranná pojistná s PA vložkou (M10) + podložka

Šroub s válcovou hlavou (M8x22) + podložka

Kotvící šrouby, podložky, matky

7.2.2 Vlastní návrh komponent

- Osová nástavba brzdy
 - Výkres: TUL-KST-INI-LS11-DP-KASAL 002
- Cívka
 - Výkres: TUL-KST-INI-LS11-DP-KASAL 003
- Tělo měřáku
 - Výkres: TUL-KST-INI-LS11-DP-KASAL 004
- Držák směrové kladky
 - Výkres: TUL-KST-INI-LS11-DP-KASAL 005

7.3 Výpočty strojních součástí

Výpočet potřebného počtu závitů pro přenos síly lze odvodit ze vztahu

$$F_p = F_{\min} \cdot e^{\alpha \cdot f} \Rightarrow \alpha = \frac{\ln \frac{F_p}{F_{\min}}}{f} = \frac{\ln \frac{150}{5}}{0,15} = 22,675 \text{ rad} \approx 11,3 \text{ ot}, \quad (7.8)$$

kde F_p ...přenesená síla, F_{\min} ...vstupní síla, f ...koeficient tření pro materiálovou dvojici ocel-ocel, α ...úhel opásání. Počet závitů lze snížit zvětšením vstupní síly, nebo změnou třecí dvojce (povrchovou úpravou kladky přenosu síly; pryž ocel $f \approx 0,25$).

Nejslabším článkem konstrukce je, kromě snímače síly, který dává zařízení limit napětí drátu, čípek šroubu. Čípek slouží pro přenos kroutícího momentu mezi nástavbou a hřídelí převodovky brzdy. Je namáhán smykovým napětím τ_s a zajišťuje přenos síly z nástavce na hřídel převodovky brzdy. Napětí se vypočítá jako podíl síly na plochu:

$$\tau_s = \frac{F}{S} = \frac{\frac{P}{2 \cdot \pi \cdot n_{kps} \cdot r_{kps}}}{\frac{\pi \cdot d_s^2}{4}} = \frac{\frac{0,133}{2 \cdot \pi \cdot 8,488 \cdot 10^{-3} \cdot 0,0125}}{\frac{\pi \cdot 0,004^2}{4}} \approx 16 \text{ MPa}, \quad (7.9)$$

kde d_s ...průměr čípku šroubu.

Dovolená hodnota napětí τ_{DS} pro materiál šroubu je 50 MPa. Hodnota bezpečnosti

$$k = \frac{\tau_{DS}}{\tau_s} = \frac{50}{16} \approx 3,125. \quad (7.10)$$

Další kontrolovanou součástí je cívka. Kontrolováno bude otlacení v místě styku s perem.

$$p = \frac{F}{S} = \frac{\frac{P}{2 \cdot \pi \cdot n_m \cdot r_p}}{l_p \cdot t_1} = \frac{\frac{0,133}{2 \cdot \pi \cdot 6,063 \cdot 10^{-3} \cdot 0,0125}}{0,012 \cdot 0,0029} \approx 8,026 \text{ MPa}, \quad (7.11)$$

Dovolená hodnota měrného tlaku p_D je přibližně 15 MPa (z materiálového listu prodejce plastů <http://www.tribon.cz/>). Hodnota bezpečnosti

$$k = \frac{p_D}{p} = \frac{15}{8,026} \approx 1,869. \quad (7.12)$$

Volený materiál cívky odolává rozpouštědlu, nikoli však kyselinám, je odolný proti opotřebení, pevný tuhý a dobře tlumí rázy. Vykazuje dobré elektroizolační vlastnosti a je určen pro teploty do 80°C.

Navržená cívka je opatřena drážkou pro pero, zahlobením na umístění magnetu a drážkou pro uchycení drátu, i drážkou pro odstranění drátu po plném navinutí (např. řezem).

Další pevnostní kontrola navrhovaných částí konstrukce není vzhledem k nízkým rychlostem pohybu a působícím silám potřebná. Nejslabším článkem zařízení je měřák síly. Ten má povolenou hodnotu zatížení 200 N. To znamená 100 N v drátu díky tříkladkové konstrukci. Tříkladková konstrukce měřáku byla zvolena kvůli eliminaci nežádoucích vlivů.

7.4 Aplikace DFX

Při návrhu zařízení je dbáno na metody detailního konstruování. Pro spojení cívek s hřídelí je použito jednoduchého spoje v podobě pera a magnetu. Pero slouží pro přenos kroutícího momentu. Otvary v cívkách určené pro hřídele jsou navrženy s větší vůlí. Důvodem je jejich předpokládaná četná montáž a demontáž. Magnet slouží jako snadno rozebíratelný spoj pro udržení cívky na hřídeli.

Proto, aby byla uplatněna zaměnitelnost navíjecí a odvíjecí cívky, je potřeba volit stejný rozměr hřídelí převodovky motoru a nástavce. Tvar otvoru může být bez problémů opatřen drážkou pro pero (přenos hnacího momentu). Ta pro volné odvíjení na straně odvíjecí nebude vadit. Odvinutou cívku (při stejných rozměrech) je možné použít pro opětovné navíjení.

Protože pera nepřenášejí axiální síly, bylo by nutné nástavbu hřídele opatřit jiným zajištěním proti posunutí. Takovým zajištěním by mohl být šroub. Konstrukci lze

zjednodušit přenosem funkce pera na šroub (pero se vynechá). Tudíž bude konstrukce méně náročná z montážního i výrobního hlediska.

7.5 Konečný návrh výroby

Konečný návrh zařízení je zachycen na výkrese sestavení TUL-KST-INI-LS11-DP-KASAL 001.

7.5.1 Stručný popis zařízení

Pohon vítězného návrhu je složen z elektromotoru řízeného frekvenčním měničem a z převodovky. Tento pohon je napojen na snímač otáček. Pohon sílu na drát přenáší přímo přes závity navíjecí cívky. Navíjecí cívka opatřená drážkou pro pero je umístěna přímo na hřídeli převodovky pohonu. Zajištěná proti posuvu je magneticky. Definované navíjení probíhá přirozeně. Drát pod napětím volí cestu nejmenšího odporu a jednotlivé závity se skládají vedle sebe (ideálně; tuto skutečnost je nutno ověřit). Z a do pracovního prostoru je drát veden jednou naváděcí kladkou s tvarovou drážkou. Kladka vedení na straně odvíjecí cívky je součástí měřáku napětí. Odvíjecí cívka je volně umístěn na nástavbě hřídele převodovky brzdy a stejně jako cívka navíjecí je opatřena magnetickým zajištěním. Přenos síly na drát je zprostředkován několika závity na kladce přenosu síly, která je pevnou součástí nástavby hřídele brzdy. Převodovka brzdy zvyšuje rychlost tření brzdy tak, aby se nacházel nad hranicí přechodové rychlosti. Použitá provozní brzda spínaná pružinou a rozpínaná elektromagnetem je napojena na řízení, aby mohla reagovat na měřenou změnu napětí drátu. Za brzdou se nachází kolo a snímač měření otáček. Frekvenční měnič, snímač otáček, snímač napětí a elektromagnetické ovládání brzdy jsou napojeny na PC a ovládány regulačním programem. Program a PC nejsou součástí práce.

Rychloposuv

Zařízení řeší rychloposuv pomocí změny vstupní frekvence motoru. Díky konstrukci motoru a jeho maximálním otáčkám není schopno vyvinout rychlost $160 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$, ale pouze $103 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$.

Otáčky motoru, výstupní otáčky a rychlost drátu

Pracovní	32 min^{-1}	$0,35 \text{ min}^{-1}$	$1,33 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$
Rychloposuv	$3\,000 \text{ min}^{-1}$	33 min^{-1}	$103 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$

Požadavky na řídicí program

Program by měl být schopen přijímat signály měřících zařízení, vyhodnocovat je (zaznamenávat) a na jejich základě ovládat brzdu a frekvenční měnič. Měl by být schopen akusticky a vizuálně signalizovat chybu (přetržení drátu). Měl by být přehledný a přátelský vůči uživateli. Při rozběhu by měl zajistit povolení brzdy a při „nastartování“ napnutí drátu na požadované napětí. Měl by být schopen zajistit plynulý rozjezd a zastavení (především u rychloposuvu). Měl by zajistit bezpečný provoz.

Multiplikace

Pro multiplikaci zařízení se doporučuje změnit přenos síly na drát u navíjecí cívky, např. namotáním několika závitů na poháněnou kladku přenosu síly; navíjecí cívku spojit s pohonem převodem s prokluzem. Pak by zařízení bylo schopno pohánět několik cívek najednou jedním pohonem. Brzdu by bylo nejlépe pro přesné řízení kopírovat.

Zlevnění

Pro zlevnění zařízení lze uvažovat o ručním ovládání třecí brzdy (šroubem) a vynechání snímače síly. Pak by bylo zapotřebí pro zjištění nastavené síly použít přenosného měřícího zařízení, kterým by byla nakalibrována stupnice síly. Další úspora by nastala při vynechání snímače rychlosti a celého řídicího aparátu v podobě PC. Rychlost by se dala odhadnout skrze nastavenou hodnotu kmitočtu na displeji frekvenčního měniče.

7.5.2 Přehled vybraných parametrů zařízení

Maximální tahová síla drátu	100 N
Pracovní rychlost drátu	1,333 mm·s ⁻¹
Pracovní otáčky navíjecí cívky	0,35 až 0,45 min ⁻¹
Rychlost drátu při rychloposuvu	~103 mm·s ⁻¹
Otáčky rychloposuvu navíjecí cívky	~33 min ⁻¹

Pro zpřesnění parametrů zařízení by muselo dojít k jeho skutečnému sestavení a k laboratorním testům.

Počet motorů	1
Počet převodovek	2
Životnost	4 000 h
Čas zavedení drátu	60 s
Čas výměny cívky	10 s
Počet základních funkcí	4 (definované navíjení, řízení

síly, řízení otáček, převíjení)

Počet konektorů propojení s PC frekvenční měnič, ovládání brzdy)	4 (měření síly, rychlosti,
Počet propojení se externími zdroji energie	1 (frekvenční měnič)
Přesné parametry jednotlivých komponent viz poptávka u dodavatelů.	

7.5.3 Pokyny pro provoz zařízení

Pro bezchybný chod zařízení se doporučuje před instalací odvíjecí cívky její namazání. To z důvodu jejích rozdílných otáček proti hřídeli na níž se pohybuje. To zapříčiňuje konstantní průměr kladky přenosu síly a neustále se měnící průměr z něhož se drát odvíjí.

Zavedení drátu lze nejnázorněji provést zajištěním drátu na navíjecí cívce, obmotáním navíjecí cívky 10ti závity. Následně se drát protahuje kladkami směrového vedení ke kladce přenosu síly. Tu je nutno omotat 10ti závity. Drát se dále vede na sběrnou kladku. Nakonec se odvíjecí cívka umístí na nastavbu hřídele brzdy. Při přetržení drátu je nutné konec na navíjecí cívce zajistit a proces opakovat.

Při rozjezdu z nuly je nutné brzdou sílu snížit. To z důvodu vyšší statické třecí síly nad dynamickou při stejné normálové síle. Následně (po rozjezdu) lze sílu zvýšit na požadovanou hodnotu. V případě rychlopřevíjení z klidu i pohybu je doporučen pomalý rozjezd stroje na plné otáčky rychloposuvu a odlehčení brzdy.

8 Stanovení nákladů na výrobu

Oslovené firmy nebyly ochotny odpovědět na konkrétní poptávku. Z toho důvodu jsou některé částky pouze odhadnuty pomocí katalogově podobných zařízení. Pro jejich konkretizaci by bylo potřeba oslovit firmy poptávkou se skutečným projevem zájmu o koupi a nikoli poptávkou s upozorněním, že se jedná o diplomovou práci.

Níže uvedená částka za zařízení neobsahuje náklady na vývoj, montáž, balení, doručení, výpočetní techniku (hardwarové a softwarové vybavení), či integrovaný řídicí obvod.

Cena zařízení	34 700 Kč
---------------	-----------

8.1 Nakupované komponenty

Motor	2 000 Kč
Teplotní ochrana motoru	500 Kč
Nezávislé chlazení motoru	300 Kč
Frekvenční měnič	5 500 Kč
Převodovka motoru	3 000 Kč
Převodovka brzdy	2 000 Kč
Snímací tělísko napětí (komplet)	8 500 Kč
Snímač otáček	5 000 Kč
Spojovací a další materiál	2 000 Kč
Kladky s ložisky	1 600 Kč
Elektromagneticky rozpínaná lamelová brzda	1 800 Kč
Magnety	100 Kč
Suma	32 300 Kč

8.2 Vyráběné komponenty

Cívky	600 Kč
Osová nástavba brzdy	300 Kč
Tělo měřáku	800 Kč
Držáky směrové kladky	600 Kč

Závěr

Práce postupovala od představení úkolu, přes plánování, QFD, průzkum současného stavu techniky, návrhu řešení, výběru řešení, po vytvoření technické dokumentace včetně stanovení nákladů na pořízení zařízení.

Pohon navrženého zařízení obstarává elektromotor s planetovou převodovkou. Díky frekvenčnímu měniči a nucenému chlazení je schopno relativně velké změny výstupních otáček. Rychlost drátu je vypočtena ze snímaných otáček výstupní hřídele převodovky brzdy. Přenos síly na straně navíjení zajišťují závity navinutého drátu a pero s drážkou na cívce navíjení. Navíjecí cívka je umístěna na hřídeli převodovky (zajištěna magnetem). Do/z pracovního prostoru je drát veden směrovými kladkami. Vstupní směrová kladka je součástí měřáku napětí. Nástavec hřídele brzdy zajišťuje přenos síly z drátu na brzdu. Z nástavce na hřídel brzdy je síla přenášena čípkem zajišťovacího šroubu. Na nástavec je nasazena volně otočná odvíjecí cívka (zajištěná magnetem). Převodovka brzdy je napojena na třetí brzdu spínanou pružinami a rozpínané elektromagnetem. Snímače otáček a síly jsou napojeny PC. PC jejich signály vyhodnocuje a na jejich základě ovládá elektromagnet brzdy a frekvenční měnič. Porucha je obsluze signalizována akusticky a vizuálně prostřednictvím PC rozhraní.

Základní parametry navrženého zařízení jsou:

Maximální tahová síla drátu	100 N
Pracovní rychlost drátu	1,333 mm·s ⁻¹
Pracovní otáčky navíjecí cívky	0,35 až 0,45 min ⁻¹
Rychlost drátu při rychloposuvu	~103 mm·s ⁻¹
Otáčky rychloposuvu navíjecí cívky	~33 min ⁻¹
Cena	34 700 Kč

(nezahrnuje řízení PC, SW)

Bodové shrnutí funkcí navrženého zařízení:

- Zařízení je schopno převíjet drát za stálého pracovního napětí. Problém brzdy (třením za nízkých rychlostí) byl odstraněn převodovkou, která rychlost tření brzdy zvyšuje nad přechodovou.
- Zařízení dokáže udržet napnutý drát za klidu stroje. To umožňuje pružinami spínaná brzda a moment setrvačnosti pohonu.
- Zařízení prostřednictvím PC dokáže vizuálně a akusticky signalizovat chybu (přetržení drátu) a přerušit chod.

- Zařízení je schopno při startu napnout drát na požadované napětí bez jeho odvíjení.
- Zařízení je díky použitému systému pohonu (frekvenční měnič, 8 pólový motor a převodovka) schopno rychloposuvu.
- Zařízení je pomocí elektromagnetického ovládání brzdy schopno regulace napětí drátu.
- Zařízení obsahuje snímač otáček umožňující regulaci otáček motoru, resp. rychlosti převíjení drátu.
- Zařízení obsahuje měřák napětí díky němuž může být napětí měřeno a přesně regulováno.

Měřicí přístroje a řízení PC předurčují zařízení k laboratornímu využití. Poskytuje nejen přesné řízení, ale díky PC mohou být data testů přímo zaznamenávána a zpracovávána. Pro průmyslové aplikace lze s výhodou využít zlevňujícího návrhu v podobě náhrady PC integrovaným obvodem, nebo vynechání řízení úplně.

Práce kromě vlastního řešení zařízení poskytuje i další návrhy dílčích řešení, jako je například posunu používaného energetického pole ve vyšší (MATCHEM; přechod od mechanického pole k elektromagnetickému), v podobě dvoumotorového protiběžného elektromotoru pro velmi nízké otáčky; nebo zvýšení stupně ideálnosti (drát se napne sám) v podobě návrhu varianty bez brzdy.

Práce se snaží klást důraz na metodicky správný postup řešení, k čemuž využívá metod inovačního inženýrství, plánování projektu, technické tvůrčí práce...

Hlavním přínosem práce je navržení zařízení pro převíjení (drátu) elektrody vysokého elektrického napětí z cívky na cívku za nízké rychlosti a stálého tahu.

Další témata vhodná pro navázání na tuto práci mohou být:

- Vytvoření prototypu zařízení pro převíjení drátu z cívky na cívku pod stálým mechanickým napětím za nízkých rychlostí, kdy se drát napne sám, a jeho zkoušky
- Výzkum dvourotorového protiběžného elektromotoru pro velice nízké otáčky
- Výzkum a uveřejnění přechodových rychlostí tření různých materiálů
- Vytvoření SW prostředí pro regulaci rychlosti a napětí výše navrhovaného zařízení
- Návrh integrovaného řídicího obvodu brzdy pro navržené zařízení

Seznam literatury

- [MII 2006] Mašín, I. – Ševčík, L.: *Metody inovačního inženýrství*. IPI 2006
- [RIP 2007] Rosenau, M., D.: *Řízení projektu*. Brno: Computer Press, a. s., 2007. 344s. ISBN 978-80-251-1506-0
- [RIP 2002] Fiala P.: *Řízení projektů*. Vysoká škola ekonomická v Praze: Oeconomica, (MBA – Praha), 2002. 176s. ISBN 80-245-0448-0
- [EZN 2004] Růžičková, J.: *Elektrostatické zvlákňování nanovláken*. Skripta. TU Liberec 2004
- [FY1 1997] Halliday, D. – Resnick, R. – Walker, J.: *Fyzika: Část 1: Mechanika*. 5.vydání. Vysoké učení technické v Brně – nakladatelství VUTIM, PROMETHEUS, 1997. ISBN 80-214-1868-0
- [STT 2005] Lienveber, J. – Vávra, P.: *Strojnické tabulky*. Albra, Úvaly 2005. ISBN 80-736-01-6
- [STS 2000] Zelený, J.: *Stavba strojů – strojní součásti*. Computer Press, Praha., 2000. ISBN 80-7226-311-0
- [ČS1 2005] Pešík, L.: *Části strojů. 1. díl*. Liberec, TU 2005. ISBN 80-7083-938-4
- [ČS2 2005] Pešík, L.: *Části strojů. 2. díl*. Liberec, TU 2005. ISBN 80-7083-939-2
- [TRIZ 1996] Bušov, B. – Jirman, P. – Dostál, V.: *Tvorba řešení inovačních zadání*. Skripta. INDUS Brno 1996
- [wELM] Elmarco *NANO FOR LIFE* [online]. 2004 – 2011. [citováno 2010-2-12]. Webové stránky zadavatele <<http://www.elmarco.com/>>

Seznam příloh

Příloha 1: Zadávací list	I
Příloha 2: Seznam úkolů	II
Příloha 3: Interpretace zákaznických potřeb	IV
Příloha 4: Rozpracování potřeb do úrovní	VI
Příloha 5: QFD	IX
Příloha 6: Kombinační tabulka dílčích řešení	X
Příloha 7: FMEA	XII

Seznam výkresů

VRCHOLOVÁ SESTAVA	TUL-KST-INI-LS11-DP-KASAL 001
NÁSTAVBA	TUL-KST-INI-LS11-DP-KASAL 002
CÍVKA	TUL-KST-INI-LS11-DP-KASAL 003
TĚLO MĚŘÁKU	TUL-KST-INI-LS11-DP-KASAL 004
DRŽÁK SMĚROVÉ KLADKY	TUL-KST-INI-LS11-DP-KASAL 005
STROPNICE	TUL-KST-INI-LS11-DP-KASAL 006
STOJNA	TUL-KST-INI-LS11-DP-KASAL 007
PODSTAVEC	TUL-KST-INI-LS11-DP-KASAL 008
BOČNICE	TUL-KST-INI-LS11-DP-KASAL 009
STOJNA2	TUL-KST-INI-LS11-DP-KASAL 010
PODSTAVEC	TUL-KST-INI-LS11-DP-KASAL 011
BOČNICE	TUL-KST-INI-LS11-DP-KASAL 012

Příloha 1: Zadávací list

Cíl	Inovace zařízení pro převíjení drátu (elektrody vysokého elektrického napětí) za stálého mechanického napětí.	
Termín	Datum zahájení	6.9.2010
	Odevzdání	27.5.2011
	Odborná rozprava (obhájení)	20.6.2011 nebo 21.6.2011
Zákazník	ELMARCO, s. r. o.	
Metodika zpracování	Plánování Rozbor zákaznických požadavků Průzkum současných řešení Kreativní generování řešení Výběr řešení Tvorba technické dokumentace Stanovení nákladů	
Zpracovatel	Bc. Jan Kasal	
Vedoucí	prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc	
Konzultant	Ing. Milan Nýdrle, ELMARCO, s. r. o.	
Místo řešení	TUL	
Výstupy	Postup (diplomová práce) Prezentace Výkresová dokumentace navrženého zařízení	
Hlavní kontrolní mechanismus	Obhajoba před odbornou veřejností dle data výše	
Vedlejší kontrolní mechanismus	Kontrola postupu vedoucím práce 1krát týdně	
Hodnotící kritéria	Správnost metodiky řešení Plnění zákaznických požadavků Celkové plnění nároků na DP	

Příloha 2: Seznam úkolů

- Studium teorie (literatury)
 - metodika zpracování diplomové práce, citace, normy
 - projekty (plánování, řízení)
 - inovační inženýrství
 - tvorba a řešení inovačních zadání
 - elektrostatické zvlákňování
 - patentový průzkum elektrostatického zvlákňování
- Plánování inovace
 - doplnění zadání
 - inovační příležitost
 - inovační záměr
 - harmonogram
 - inovační prohlášení
 - revize výstupů
- Identifikace zákaznických potřeb
 - afinní diagram
 - určení technických parametrů důležitých pro další postup
 - dekompozice výrobku
- Průzkum současného stavu techniky
 - patentové rešerše
 - benchmarking
- Kreativní řešení problému
 - brainstorming
 - kombinační tabulka dílčích řešení
- Výběr a ověření varianty, stanovení finální specifikace
 - aplikace hrubého a detailního rozhodování v tabulkách
 - interview pro ověření zvoleného řešení k dalšímu postupu
 - QFD „nakreslení“ domu jakosti
- Vytvoření technické dokumentace
 - 3D konstruování
 - výpočty strojních součástí

- využití citlivostní analýzy pro zlepšení návrhu
 - aplikace detailního konstruování DFX
 - D-FMEA
 - stanovení konečného návrhu výrobku
 - vlastní výkresová dokumentace
- Stanovení nákladů výroby
- Schválení vedoucím projektu (změny, úprava a nové schválení)
- „Zabalení“ dokumentace
- Vytvoření prezentace
- Prezentace projektu před odbornou veřejností
- Poučení z projektu

Příloha 3: Interpretace zákaznických potřeb

Z požadovaných a potřebných funkcí:

- Při startu zařízení se napne drát a bez převíjení bude držet v napjatém stavu.
 - Před převíjením zařízení napne drát silou nastavenou operátorem a sílu „zafixuje“. (Předeprnutí.)
- Zařízení bude převíjet drát za stálé napjatosti pracovní rychlostí.
 - Při pracovním převíjení bude zařízení monitorovat a regulovat napětí elektrody v mezích blízkých hodnotě nastaveným operátorem. (Regulace napětí v mezích.)
- Zařízení bude schopno rychle převinout drát o délku pracovního prostoru a poté ho bude udržovat napnutý bez dalšího převíjení.
 - Zařízení bude schopno rychle převinout drát o délku pracovního prostoru plynule z pracovních otáček a následně bude schopno zpomalit do pracovních rychlostí nebo klidu. (Rychlopřevinutí.)
 - Mezi jednotlivými provozními fázemi zařízení (z rychloposuvu do pracovního) nastaví sílu v drátu na požadovanou nebo na bezpečnou (z pracovního do rychloposuvu), aby nedošlo k přetržení drátu.
- Při přetržení drátu (poruše) bude chod zařízení zastaven a obsluze bude signalizována chyba.
 - Zařízení bude indikovat přítomnost drátu.
- Zařízení bude schopno regulace napětí v drátu.
 - Zařízení bude indikovat napětí v drátu a bude schopno upravovat jeho hodnotu i za provozu.
- Rozměry navrhovaného zařízení musí být co možná nejmenší z důvodů nedostatku místa. Zařízení by mělo být kompaktní (např.: jeden frekvenční měnič pro všechny pohony, ...)
 - Vlastní zařízení (nepočítá-li se pracovní prostor) bude prostorově malé, kompaktní, co možná nejjednodušší.
- Převíjení drátu bude plynulé bez přeskokování. Pohony s vyššími převody ($>30 : 1$) způsobovali mechanické vůle, které firma při vývoji nebyla schopna vykompenzovat.

- Indikované napětí drátu nebude vlivem provozu zařízení výrazně kolísat.

Z interview na téma: Doplnění zadání

- Jak moc se drát opotřebuje, nebylo by možné (chtěné) i reverzí převíjení? Má být vinutí jednosměrné?
 - Ne, zařízení nebude mít reverzi.
 - Zařízení nebude obsahovat reverzi. Pohon nemusí být chopen otáčet se opačným směrem.
- Je nutné přímé vedení drátu v pracovním prostoru, jsou povoleny změny směru (výchyly vlivem navíjení a odvíjení)? Není zajištěno vedení drátu pracovním prostorem jiným (cizím) členem, např.: vaničkou s polymerem?
 - Ano, přímé vedení v pracovním prostoru je nutné. Cizí vedení neuvažujte. Vedení bude obstarávat především navrhované zařízení.
 - Zařízení bude udržovat v pracovním prostoru stálý směr drátu, ten se nebude „komíhat“.
 - Zařízení bude přímý směr drátu udržovat vlastními prostředky.
- Je nutné rychlopřevíjení elektrody o délku 1 600 mm?
 - Tento požadavek nemusí být splněn.
 - Zařízení bude schopno převinout drát rychloposuvem.
- Obvodová rychlost je závislá na poloměru, který se u navíjecí (poháněné) cívky bude měnit. Má být tedy konstantní obvodová rychlost, nebo mají být konstantní otáčky?
 - Primárně by měla být dodržena rychlost drátu.
 - Rychlost převíjení drátu pracovní oblastí bude konstantní.
- V jakých přesnějších hodnotách má být tahová síla v drátu regulována?
 - Pro představu 50 až 100 N, ale tento údaj není nikterak podstatný.
 - Síla způsobující napětí bude v jistém rozsahu nastavitelná.

Z inovační příležitosti

- Drát se bude do zařízení snadno zavádět.
- Cívky se budou do zařízení snadno montovat.
- Zařízení bude využívat jen blízké zdroje.
- Zařízení bude možno napojit na výpočetní techniku.
- Zařízení bude snadno využitelné v technologickém
- Zařízení bude snadno multiplikovatelné.

Příloha 4: Rozpracování potřeb do úrovní

- předepnutí
 - automatizace procesu
 - schopnost se sám napnout s udržet napnutí
 - program automatického napnutí
 - kontrola napětí (síly)
 - přečtení nastavené hodnoty
 - zobrazovací zařízení
 - čitelné
 - dobře umístěné
 - nastavení hodnoty
 - elektronické nastavení
 - přijatelný interface
 - intuitivní ovládání
 - spuštění předepnutí
 - předepne „stiskem jednoho tlačítka“
- monitorování a regulace napětí při práci i jiných činnostech zařízení
 - regulace napětí v jisté oblasti
 - nastavení hodny
 - přečtení
 - automatizace procesu regulace
 - zavedení PC
 - přátelský interface
- rychloposuv
 - zapnutí
 - nastavení délky převíjení
 - počítadlo převinuté délky
 - nastavení času převíjení
 - stopky pro kontrolu doby běhu funkce
 - vypnutí (stop)
 - ruční vypnutí
 - má tlačítka v okamžitém dosahu

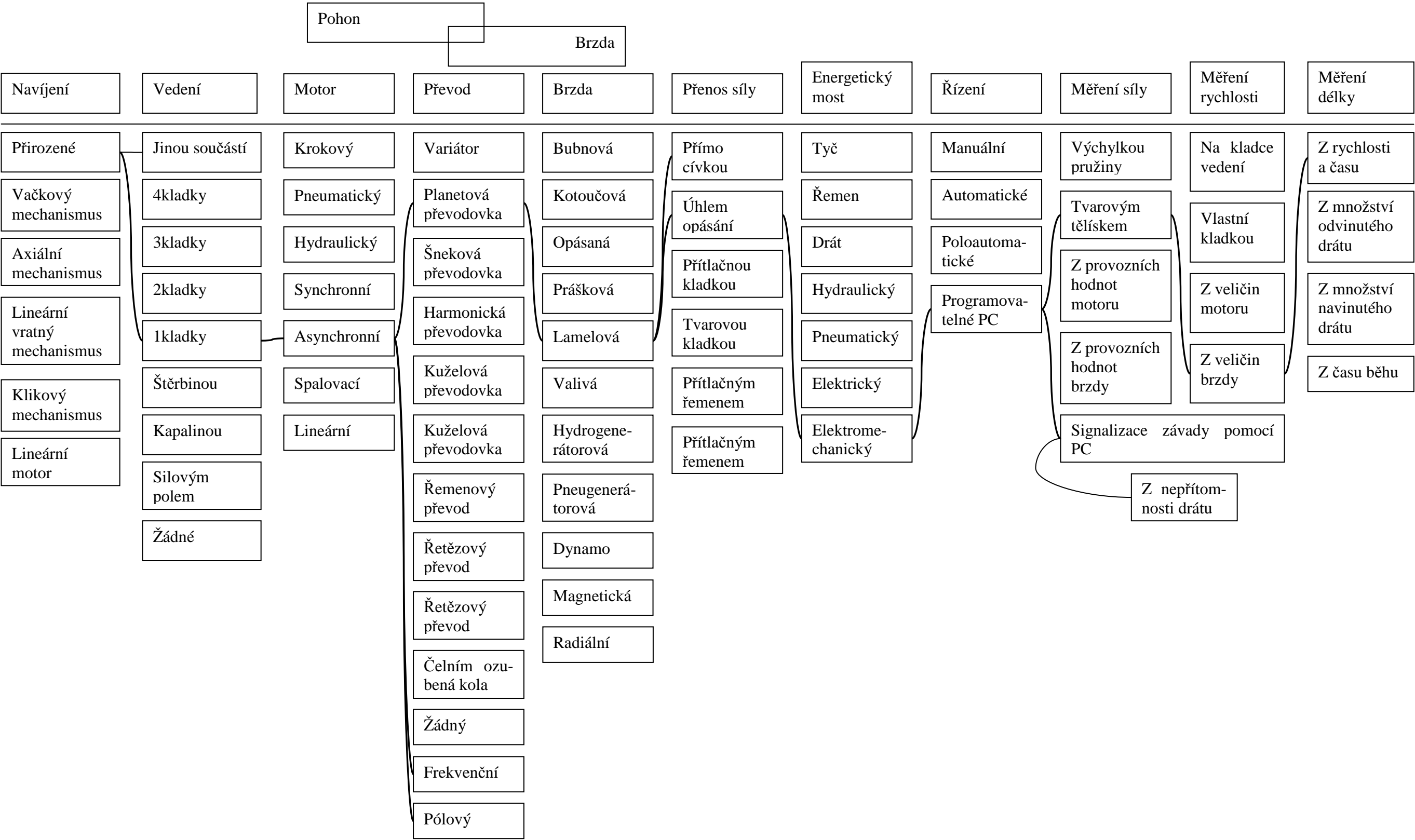
- automatizace procesu
 - propojení s PC
- hlídání zbývajících elektrody
 - indikace přítomnosti elektrody
 - zjištění přítomnosti
 - zjištění závady
 - reakce zařízení
 - náprava přetržení
- jednoduchost, kompaktnost, cena
 - malé rozměry
 - malá hmotnost
 - malý počet součástí
 - počet motorů
 - počet konektorů
 - počet přesných, drahých dílů
 - počet dílů s drahých materiálů
 - velkou životnost
 - malý počet pohybujících se částí
 - malý počet třecích částí
 - malý počet valivých částí
 - údržba
- stálý směr elektrody v pracovní oblasti vlastními prostředky
 - má kontrolu směru
- regulace rychlost převíjení bude konstantní
 - regulace rychlosti
 - nastavení rychlosti převíjení
 - monitorování rychlosti
- instalace a demontáž cívky
 - vyjmutí
 - prostor pro pohodlnou manipulaci
 - kontrolovatelnost děje manipulace
 - upevnění
 - rychlé upnutí

-
- pohyby při upínání (ne šroubování)
 - kontrola upevnění
 - instalace drátu
 - uchopení drátu
 - upnutí do brzdného mechanismu
 - protažení drátu pracovním prostorem (závisí na technologii, dále nebude uvažováno)
 - lze snadno táhnout za drát (stav odbrzdění)
 - navedení do pohonného mechanismu
 - navázání na navíjecí cívku
 - využití blízkých zdrojů
 - napojení na zdroje
 - standardní vstupy a výstupy
 - využívá standardních zdrojů (230 V, voda, ...)
 - propojení s PC
 - standardní konektory
 - využití v technologii
 - propojení
 - stejné SW vybavení
 - standardizované konektory
 - montáž
 - standardizované spoje
 - příprava spojení
 - multiplikovatelnost

Příloha 5: QFD

[illegible]

Příloha 6: Kombinační tabulka dílčích řešení



Příloha 7: FMEA

FMEA			Zpracoval		Stav		Poslední aktualizace		listů/list																
Zařízení pro převíjení drátu			Jan KASAL	Velký měrný tlak	Kontrolní výpočet	Kontrola, preventivní opatření	3	Vznik	10	Význam	4	Odhalení	120	Možné riziko	Doporučené opatření	Odpovědnost	Termín	Provedené opatření	1 z 2		Vznik	Význam	Odhalení	Možné riziko	Stav
Cívka	Nadměrné deformace	Zařízení není schopno vyvolat v drátu napětí	Důsledek																						
	Nedostatečná elektrická izolace	Porucha motoru		Malý elektrický odpor	Prototypové zkoušky			1	8	3	24				Změna tvaru										
	Neodolání působení roztoku	Poškození cívky		Deformace cívky	Materiálové zkoušky			2	9	1	18				Povrchová úprava										
															Změna materiálu										
Tělo měřáku	Zkroucení	Neplní funkci		Malá tuhost	Prototypové zkoušky			2	10	2	40				Zvýšení tuhosti										

FMEA			Zpracoval		Stav		Poslední aktualizace		listů/list							
Zařízení pro převíjení drátu			Jan KASAL		Průběžná	20.5.2011		1 z 2		Provedené opatření	Vznik	Význam	Odhalení	Možné riziko	Stav	
Komponent	Možná chyba	Neplní funkci	Důsledek	Příčina	Prototypové zkoušky	Kontrola, preventivní opatření	Vznik	10	Význam	2	Odhalení	40	Zvýšení tuhosti	Doporučené opatření	Opodědnost	Termín
							5	Malá tuhost	Malá životnost	Upozornění výrobce	1	10	5			
Držák směrové kladky	Zkroucení	Porucha převodovky	Zařízení není schopno vyvolat v drátu napětí	Velký měrný tlak	Malá životnost	Upozornění výrobce	1	10	10	5	3	150	150	Zvětšení průměru čípku	Změna materiálu	
Ložiska převodovky	Zařízení	Porucha převodovky	Zařízení není schopno vyvolat v drátu napětí	Velký měrný tlak	Malá životnost	Upozornění výrobce	1	10	10	5	3	150	150	Zvětšení průměru čípku	Změna materiálu	
Šroub s čípkem	Přestřížení čípku	Zařízení není schopno vyvolat v drátu napětí	Zařízení není schopno vyvolat v drátu napětí	Velký měrný tlak	Malá životnost	Upozornění výrobce	1	10	10	5	3	150	150	Zvětšení průměru čípku	Změna materiálu	
Nástavba	Zamotání	Přetížení drátu	Přetížení drátu	Velké množství závitů	Velké množství závitů	Pečlivé namotání	5	10	10	3	150	150	150	Zvětšení průměru čípku	Změna materiálu	

